「かいれい」、「かいよう」
MCS 不具合対策報告書

平成13年７月

海　洋　科　学　技　術　セ　ン　タ　ー

MCS 信頼性向上ワーキンググループ

目　次

Ｉ．はじめに

１．経緯

「かいれい」は新造時より、マルチチャネル反射法探査システム（以下、MCS１号機という）を装備していたが、観測システムやその規模の制約上、地下構造を２次元に仮定しての解析結果しか得ることができなかった。日本周辺海溝海域等では地下構造が横方向に激しく変化しており真の構造を得るためには、構造の３次元的変化をも考慮した探査・解析システムが必要不可欠である。また、高性能３次元地殻構造解析システムによって、沈み込むプレートの形状、地震波速度分布が得られること、プレート間の固着度などの地震発生帯の物性を明らかにすることが可能となり、地震発生長期予測モデルに資することから、平成10年度補正予算により、３次元地殻構造解析システム（以下、MCSという）を製作、購入し、３次元反射法地震探査システムを「かいれい」に、３次元屈折法地震探査システムを「かいよう」に搭載した。

２．プロジェクトチーム

MCS の製作、購入にあたっては、「かいれい」に装備されていたMCS１号機の順調な運用までに多くの不具合が発生したことから、平成10年５月に研究業務部、深海研究部、海底下深部構造フロンティアからなるプロジェクトチームが結成された。

高性能３次元 MCS プロジェクトチームの構成

プロジェクトリーダー：研究業務部長
サブリーダー：深海研究部長
サブリーダー：研究業務部 計画調整課長（全体総括）
探査システムチーム
チームリーダー：深海研究部 研究員（OBS 担当）
チームリーダー：海底下深部構造フロンティアチームリーダー（MCS担当）
OBS 担当：深海研究部
部内調整担当：深海研究部
MCS 担当：海底下深部構造フロンティア
船舶改造調整担当：研究業務部 船舶工務課
MCS 担当：A社
OBS 担当：Ｂ社

システム運用担当：C社

船舶改造チーム

　　　チームリーダー：研究業務部 船舶工務課長

　　船舶改造調整担当：研究業務部 船舶工務課

　　　　改造全般担当：Ｃ社

　　「かいれい」担当：Ｄ社

　　「かいよう」担当：E社

事務局

　全体総括：研究業務部 計画調整課長

　計画管理（船舶改造）、庶務担当：研究業務部 船舶工務課

　計画管理（探査システム）、庶務担当：深海研究部

　計画管理、庶務担当：フロンティア研究推進室

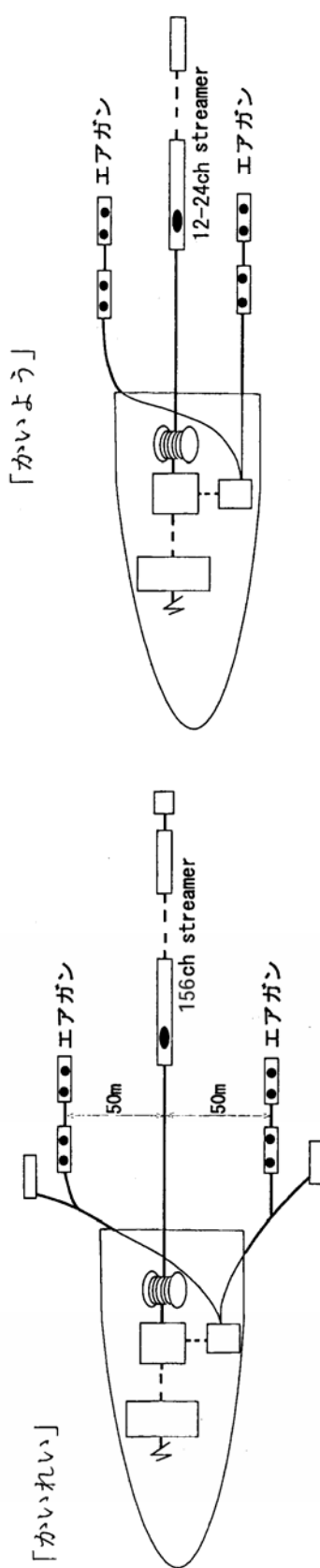
３．搭載工事の概要

「かいれい」は平成 11 年３月にＤ造船所において、「かいよう」は平成 11 年５月にE造船所において MCS を搭載した。

４．システムの概要

「かいれい」は 1,500inch^{3}のエアガンを８本曳航し、左右舷の４本を交互に発振して長さ約 4,000m、156 チャンネルのストリーマにてデータを取得する。

「かいよう」は 1,500inch^{3}のエアガンを８本曳航し、８本を同時に発振して 12 チャンネルのストリーマにてデータを取得する。

「かいれい」・「かいよう」各システムの構成を図－１に、曳航概要を図－２、図－３に示す。また、システムの特徴を表－１に示す。

3D reflection seismic survey 対応
- ・エアガン
  - 1500 cu. inchのエアガン(Bolt LongLif Gun)を８本曳航
  - 左右舷（４本）を100m離し交互に発振することによって
  - ３次元データを取る
- ・ストリーマ
  - 156ch（約4000m）　24bit digital streamer
- ・コンプレッサー
  - 1500 cu. inch４本（片舷分）を30-40秒間隔で発振可能
- ・ＲＧＰＳによってエアガン、ストリーマの位置を常時モニタ
- ・船位置はＤＧＰＳによって決定
- ・「かいよう」との2 ship wide-angle survey対応

上記システムによって、石油探査３Ｄより更に深部構造探査に対応する（例えば地震発生帯上面など）。

3D wide-angle OBS survey 対応
- ・エアガン
  - 1500 cu. inchのエアガン(Bolt LongLif Gun)を８本曳航
  - 8本同時発振
- ・海底地震計100台(Digital 3componet+hydrophone 21days recording)
- ・ストリーマ
  - 12ch streamer（最大24chまで拡張可能）
- ・コンプレッサー
  - 1500 cu. inch８本を60秒間隔で発振可能
- ・船位置はＤＧＰＳによって決定
- ・「かいれい」との2 ship wide-angle survey対応

上記システムによって、地殻深部・上部マントル３Ｄ探査に対応する。

３Ｄ地震探査データ処理・解析のためFocus/Disco, Omega 等の処理・解析ソフトを整備。また、３Ｄ地震探査データ解釈ソフト導入。これらソフトに対応するため、SGI, IBM, SunのServer machineとスーパーコンピューターSX4を使用する。

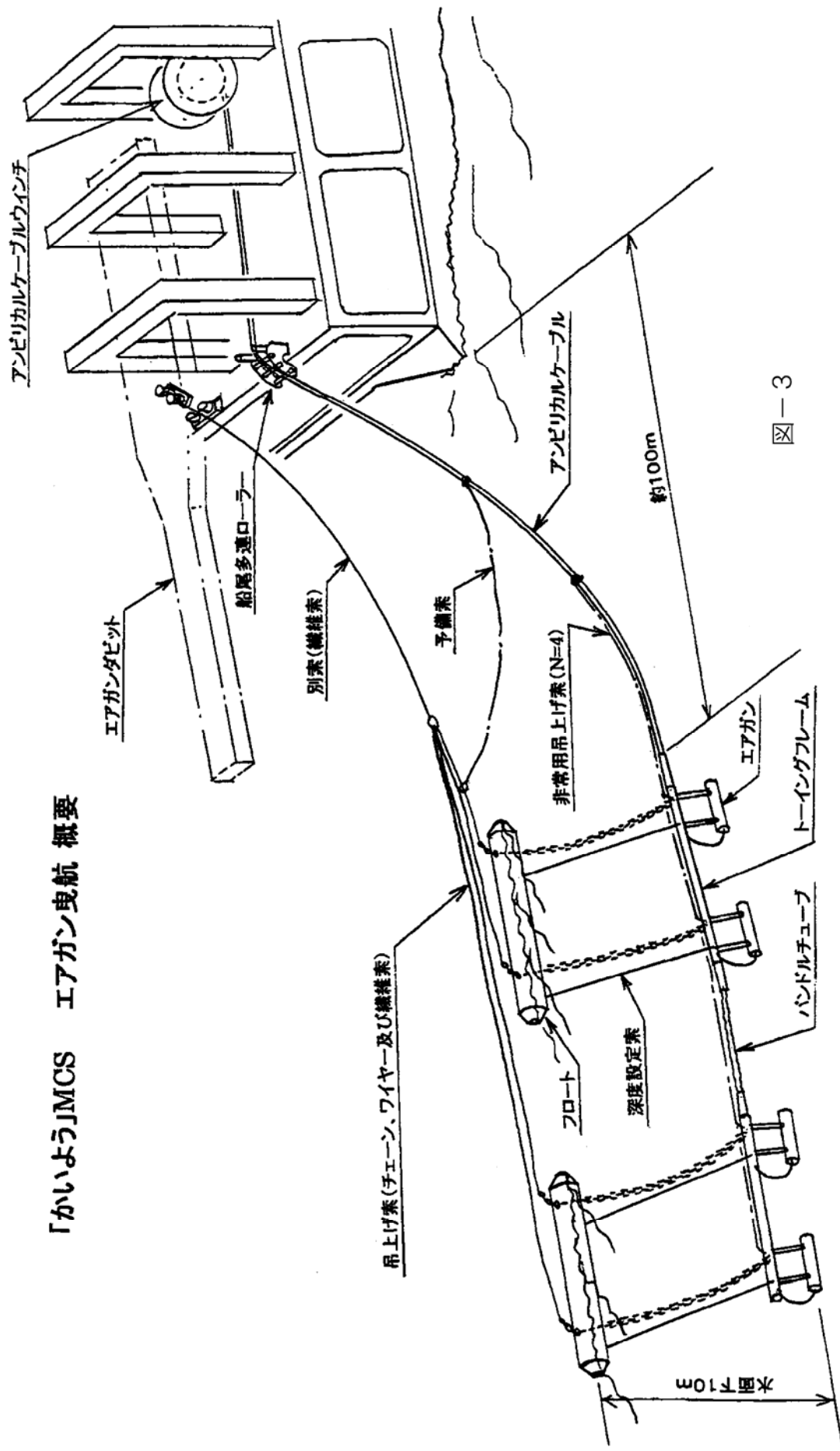
図-1 「かいれい」・「かいよう」各システムの構成

「かいれい」

MCS　パラベイン・エアガン　曳航概要

図-2

「かいよう」MCS　エアガン曳航 概要

図－3

機器名		「かいれい」MCS	「かいよう」MCS
中央制御記録システム		Ｈ社	Ｎ社
		24ビット	24ビット
深度調整システム		Ｈ社	Ｎ社
	深度調整器数	15台	3台
ストリーマケーブル		Ｈ社	O社
	全長	3900m	300m
	ケーブル数	52本（75m）	2本（150m）
	チャネル数 156ch	12ch	
	張力計	Ｈ社	なし
ガンコントロールシステム		Ｈ社	同左
		GCS90	同左
ガン曳航方式		アンビリカルケーブル	同左
	全長	140m	同左
	曳航距離	100m	同左
	曳航ウインチ	I社（油圧）	同左
エアガン		Ｍ社	同左
	容量	1500cu.inch（約25・）	同左
	台数	8台	同左
コンプレッサー		Ｊ社	Ｐ社
	台数	3台	2台
測位システム		Ｋ社	同左
	測位方法	D-GPS, R-GPS	D-GPS
データ処理システム		Ｌ社	Ｑ社
波形観測システム		Ｍ社	同左

表－１　システムの特徴

５．MCS 信頼性向上ワーキンググループ

「かいれい」、「かいよう」とも搭載後の海上試験を実施し、平成11年度に各々２回の MCS 調査行動において運用を行ったところ、システムの運用に支障を来すⅡ項以下に述べる不具合が発生した。

これらのトラブルの原因究明、対処を実施するとともにシステムの総合点検を行い早期に調査研究を再開継続するために、平成 11 年 10 月に MCS 信頼性向上ワーキンググループが設置された。ワーキンググループの構成を以下に記す。

MCS 信頼性向上ワーキンググループ

（１）グループ構成員

(グループリーダー、海洋技術研究部主任研究員)
(総務部安全管理室室長)
(経理部経理課長)
(経理部契約課長)
(企画部企画課長)
(深海研究部副主幹)
(海洋技術研究部副主幹)
(研究業務部海務課主任)
(研究業務部計画調整課主任)

（２）アドバイザ

(深海研究部長)
(研究業務部長)

（３）事務局

(研究業務部船舶工務課長代理)

（４）オブザーバ

(深海研究部研究員)
(研究業務部船舶工務課主任)
(研究業務部船舶工務課主任)
(海底下深部構造フロンティアチームリーダー)
(海底下深部構造フロンティアサブリーダー)
(海底下深部構造フロンティアサブリーダー)
（Ｃ社　海洋技術部長)
（Ｃ社　海洋科学部)
（Ｃ社　海洋科学部)

平成 12年度にはワーキンググループの構成を変更し、オブザーバをグループ構成員に編入した。また、人事異動によりグループ構成員、アドバイザ、事務局の交代があった。平成13年３月現在のグループ構成を以下に示す。

（１）グループ構成員

（グループリーダー、Ｃ社　海洋科学部長）
（総務部安全管理室調査役）
（経理部経理課長）
（経理部契約課長）
（企画部企画課長）
（深海研究部副主幹）
（深海研究部研究員）
（海洋技術研究部副主幹）
（研究業務部計画調整課主任）
（研究業務部計画調整課）
（研究業務部海務課主任）
（研究業務部船舶工務課主任）
（研究業務部船舶工務課主任）
（海底下深部構造フロンティアプログラムディレクタ）
（海底下深部構造フロンティアサブリーダー）
（海底下深部構造フロンティアサブリーダー）
（Ｃ社　海洋技術部長）
（Ｃ社　海洋科学部）
（Ｃ社　海洋科学部）

（２）アドバイザ

（深海研究部長）
（研究業務部長）
（研究業務部船舶工務課長）

（３）事務局

（研究業務部船舶工務課長代理）

Ⅱ．アンビリカルケーブル

１．不具合の発生状況

アンビリカルケーブルは人工地震源（エアガン）の動力源であるエアホースと制御を行うための電線との複合ケーブルであり、「かいれい」、「かいよう」とも左右舷に各１本装備している。両船とも平成 11 年度の行動において不具合が発生した。

1.1「かいよう」

平成 11 年度最初の MCS 行動である KY99-03：南海トラフ・室戸沖において、アンビリカルケーブルの断線、半断線が発生した。それ以後のKY99-05：日本海溝・宮城沖行動においても断線、半断線が発生した。以下にアンビリカルケーブルの断線、半断線による不具合発生状況を記す。

KY99-03 行動中

６月８日　No.1（右舷）エアガン発振停止、予備電線に接続替え
〃　No.5（左舷）エアガン発振不良（時々発振）
６月９日　No.5（左舷）エアガン発振不良（時々発振）
予備電線に接続替え
６月17日　No.2（右舷）エアガン発振停止、予備電線に接続替え
６月18日　No.2（右舷）エアガン発振不良（2.5 ノット以上で停止）
〃　No.3（右舷）エアガン発振不良（時々発振）

センター入港中

７月５日　不具合個所を特定し、右舷13.5m、左舷18.5m 切断除去、復旧（Ｇ社サービスエンジニア施工）

KY99-05 行動中

８月２日　No.3、4（右舷）エアガン発振不良、予備電線に接続替え
８月６日　No.5、8（左舷）エアガン発振不良、予備電線に接続替え
〃　No.7、8（左舷）エアガン発振不良、独立専用電線をアンビリカルケーブルに沿わせて使用
〃　No.1〜4（右舷）エアガン発振不良、独立専用電線をアンビリカルケーブルに沿わせて使用

エアガン発振回数は KY99-03 約 3,000 回、KY99-05 約 8,000 回、計 11,000 回。

1.2「かいれい」

平成 11 年度最初の MCS 行動である KR99-04：南海トラフ・四国紀伊半島沖では、アンビリカルケーブルの断線、半断線による不具合は認められなかったが、第２回目の KR99-08：日本海溝宮城沖行動中にアン

ビリカルケーブルの断線、半断線による以下の不具合が発生した。

9月3日　No.4（右舷）、No.8（左舷）エアガン発振不良、エアガン6本で観測を続行、測線終了後の作動確認では正常に発振

9月6日　No.4（右舷）、No.8（左舷）エアガン発振不良、エアガン6本で観測を続行、測線終了後の作動確認でも動作不良、翌日の観測もエアガン6本で実施

9月7日　測線終了後、右舷6系統、左舷1系統のアンビリカルケーブルの断線または半断線を確認、予備電線及び R-GPS 電線に接続替えを行い、右舷3本、左舷4本のエアガン復旧

9月9日　No.1、3，4（右舷）エアガン発振不良、エアガン5本で観測を続行、測線終了後の作動確認でも動作不良、以後の観測もエアガン5本で実施

エアガン発振回数は KR99-04 約 12,000 回、KR99-08 約 24,000 回、計 36,000 回。

2．原因調査

2.1 船上調査及び WG 発足前の処置

「かいよう」KY99-03 行動終了後、平成 11 年6月に船上においてメーカー技術者による調査を行った。TDR計測器による調査では断線及び半断線個所はトーイングフレームから 7m 前後であったが、トーイングフレームから右舷 13.5 m，左舷 18.5 m までを切断し、調査したところ、他の個所にも多数の z キンクが存在した。

上記調査以降も前項で述べた断線、半断線が発生したことから、「かいよう」、「かいれい」の平成 11 年度 MCS 行動終了後、「かいよう」のケーブル2本をケーブル製造メーカーF社で解体調査を指示した。

「かいれい」から陸揚げしたケーブルの1本をトーイングバーから約 10 m の部分を1m のみ切り出し、解体調査したところ、数カ所にz キンクが認められた。

2.2 不具合対策の方針

問題点を明確にし、再発しないよう確実に対策を施す恒久対策及び両船とも次行動までスケジュールに余裕がないため、不具合の原因が十分追求されなくとも、ある程度仮定に基づいた応急対策を考えるという両面対策を基本方針とした。

恒久対策としては、アンビリカルケーブルの構造によるものか、曳航方式等の運用方式に問題があるのかを明確にするための調査を行い、適

切な対策を施すこととした。
応急対策を行う場合でも状況証拠等から原因をある程度絞り込む必要がある。
また、不具合の原因は、本システムが他と異なる点にある可能性が最も高いことから、他のシステムとの相違点についても検討を行うこととした。

2.3 原因推定

本アンビリカルケーブルに発生している損傷は、形状から z キンクと呼ばれているものである。この z キンクは、ケーブルの損傷としては典型的なもので直線上のケーブルが軸方向の圧縮力の作用により座屈し、形状が z 状になる特徴を持っている。ケーブルの座屈現象に関しては、当センターでは無人探査機で多くの経験を積んできており、zキンクを発生させる力は、以下の力がケーブルに作用していることと考えられ、どちらがケーブルに作用したとしても z キンク=座屈は発生する。

・ケーブルを曲げる
ケーブルはある太さを持った線構造を持つ、これを曲げると曲げの内径側は、圧縮作用、曲げの外径側は伸張を受ける。この作用を繰り返すことによりケーブル素材に曲げストレスが負荷される。

・ケーブルを捻る
基本的には、3次元的な曲げ作用として判断でき上記症状と変わらない。
これらを発生させる過程は、ケーブルが緩んだ状態で発生するケースと緊張した状態で発生するケースに分けられる。以下に動きを記す。

・ケーブルが緩んだ状態で発生するケース
ケーブルが緩んだ状態（エアガン等の揚収、着水作業時）でケーブルが外力（潮流、ガンの衝撃）により、屈曲・捻れを受ける。その他、ケーブルがドラムに巻き取られた時には曲げが作用する。

・緊張した状態で発生するケース
緊張した状態で発生するケースは、張力による自己捻回及び振動による屈曲を受ける（張力変動に伴う捻り／捻り戻しも含む）。

・むち打ち現象（スナップロード）
さらに上記ケース間の過渡現象として、むち打ち現象（スナップロード）があり、屈曲、捻れ等が高加重かつ高速に変動してケーブルに作用することとなる。

以上のケーブルの動きに関してはこれまで経験的に認識されており、ある程度実験でも現象は裏付けされている

ケーブル内の電線または強度メンバーの座屈やケーブルのキンクは、

①小半径の屈曲の繰り返し、②捻りと開放の繰り返し、③張りと緩みの繰り返しによって生ずる。即ち、今回の場合、①はローラーによる局部曲げ、②は思い当たるものがなく、③はガン発振による衝撃やホースの伸縮が考えられる。

一方、メーカーの見解は以下の通りである。

・エアガン着水・揚収時に発生する曲げが、最低曲げ半径以下になっているためにケーブルの座屈が発生している。

・船尾多連ローラー部にて着水・揚収時発生する曲げが、最低曲げ半径になっているためにケーブルの座屈が発生している。

2.4 メーカー解体検査に対する基本的姿勢

不具合原因の調査を行うにあたって、以下の「海洋科学技術センターの MCSアンビリカルケーブル調査の基本的姿勢」をメーカーに示した。

海洋科学技術センターの MCS アンビリカルケーブル調査の基本的姿勢

（１）はじめに

今回のアンビリカルケーブルの断線問題は、

①発注後、１年以内のトラブルである。

②「かいよう」に関しては第１回目の行動（発振回数400 程度＋3000回）でトラブルが発生している。

今回の検査の目的は、トラブルの現状検査を行い、トラブルの原因を解明することとしている。

従って、原因究明に必要なデータの提示、必要な解体検査を行うことが不可欠である。

①必要なデータとは、開発に必要なデータ
ケーブルの性能確認を行った試験データ

②必要な解体検査とは、当センターが納得する検査要領及び実施項目とともに、当センターが納得いく調査報告・調査データの提示が必要である。

（２）不具合の原因に対する当センターの考え方

基本的にケーブルが持っている性能が、大容量エアガンの運用に耐え得る状況にないとの考えを持っており、基本的にケーブルの構造が本エアガンシステムの条件に性能が合っていないと考えている。

理由は、

①「かいよう」、「かいれい」の運用に関して、これまでのメーカーの報告で述べられている原因である小半径曲げについては、以下の

検討結果で否定されている。

・投入揚収時は、人手でハンドリングしているため、ケーブルの自然曲げ程度で舷側の多連ローラーによって小径曲げは発生しない。

・着水後のケーブルの取り扱いは、ケーブルがスラックしないよう、加えてブイ及びトーイングバーが船体に接触しないよう船の推力を利用して押し流しているためケーブルには少なくとも多連ローラー部で真下方向に大きな力が掛かる小径曲げは加わらない。
（ケーブルは必要に応じて、繰り出しを行っているため大きな張力は、かからない。）

・定常的曳航状態では、ローラーには点接触のみで小径曲げは加わらない。

・最小曲げ半径についての動的・静的の当センターの判断は、メーカー考え方とは逆の考えを持っている。
静的動きについて
多連ローラーでの接触は、運用上低張力・きわめてゆっくり（エアガン投入揚収時）または高張力・完全停止（曳航状態）。
動的動きについて
ウインチで巻き出し、巻き込みを行っている時で曲げ作用は小径曲げより小さく、加えて最大 900kgf 程度の張力が作用して曲げが加わる動的な運動と判断している。

②運用データを取りまとめた結果から

・「かいよう」は「かいれい」に比べて、アンビリカルケーブルに関して非常に寿命が短いことが判明している。

・「かいよう」、「かいれい」の運用上の違いは、「かいれい」のパラベインをケーブルに取り付け、曳航を行っている点である。

このため、ガンの衝撃でケーブルが緩んだときにパラベイン側の張力により緩むことが緩和され、曲げも併せて小さくなることが考えられる。

③その他運用上の特徴

・バンドルはアンビリカルケーブルと同様エアガンの衝撃を受けるが、その中に配置されているケーブルはこれまで損傷を受けていない。（数万回程度は、損傷を起こさない）

加えて、運用中のバンドル自身が大幅に折れ曲がるような損傷を受けているにも関わらず、バンドル内に配線されたケーブル・ホースの損傷は起こっていない。

バンドル内部で、外力からの影響を受けても、ケーブルの配線上ゆとりを持って配線されているため十分動けることから、ケーブル・ホースの損傷は少ないと考えている。

一方、アンビリカルケーブルのケーブルの設置設計は、きわめてリジットに配置しているため動きが悪く、曲げに対してきわめて弱い構造を持っていると考えている。

以上、これらは、アンビリカルケーブルの構造的な問題であると考えている。

（３）調査方法

我々は以上の立場で、メーカーの不具合原因究明法を判断する。

（４）調査方法がない場合

以下に従うこととする。

①解体調査

②原因推定（～12 月中）

③確認のための実験（～１月中）

④対策（～４月まで）

ケース１：ケーブルに対する対策なし（現状のまま製作）、運用上の対策案提出

ケース２：対策を講ずる
対策案ができた時点でケーブル製作交換

⑤試験運用（2000年 運用を試験運用と位置づけ試験を行う。当然、補償は延長される。）

４～　８月

⑥改良　　６～10月

⑦運用　　2001 年

2.5 解体調査結果

平成 11 年 11月にアンビリカルケーブル製造メーカーであるドイツ NSW 社において、「かいよう」に装備していたケーブル（長さ 120.1m）の解体調査を行った。

・左舷側 10 ヶ所、右舷側 1 ヶ所を解体した。
　調査の結果、zキンクはセンター納品時より存在していたと推定される。
・ケーブル全長に z キンクが存在した。運用上全く外力がかからないケーブルリール内の電線にも z キンクが存在した。また、ベンドリストリクター近傍では断線、半断線状態のものも存在した。

以上のことから、電線・エアホース部に張力をかけすぎた状態でシースを被せて製造したため、張力を緩めたときケーブルが全体的に縮んだため、zキンクが発生したと推定される。

メーカーでの解体調査後、センターで保管していた「かいれい」ケーブルについても同様の解体調査を実施した。

・全長にわたって平均的に z キンクが認められた。ベンドリストリクター近傍には小さい zキンクが「かいよう」とほぼ同数存在することが確認された。
・ケーブル全長に z キンクが存在しており、「かいよう」の調査結果とほぼ同じであった。

３．不具合対策

3.1 解体調査後の問題対処方針

解体調査の結果から、ケーブルの断線は製造上の問題であるとの結論を得た。平成 12年度の調査行動を支障なく行うために、今後の問題対処方針を以下の通りとした。

MCS アンビリカルケーブル問題対処方針

本年 11 月、Ｆ社における MCS アンビリカルケーブルの解体検査に立会した結果、本ケーブルには、JAMSTEC が MCS システムの運用を開始する以前から電線のキンクが存在していた。

キンクの原因として、アンビリカルケーブル製造（アセンブリ）時に、ホース及び電線に過度の張力を加えてシース（被膜）を被せたため、製造後にホースが長さ方向に収縮した際に、電線にキンクが発生したと推定される。

3.2 新アンビリカルケーブルの採用

メーカーとユーザー間のケーブル断線についての見解の一致を待っていては平成 12年度の調査行動に支障を来すため、並行して新たなアンビリカルケーブルの準備について検討を行った。

新たに準備するアンビリカルケーブルについては①不具合の発生したケーブルと同一のものを製作する。②スチールアーマード型ケーブルに変更する。の２案が代理店より提示されたが、

①案は、ケーブル製造メーカーである Ｆ社がケブラー型でキンクのないケーブルを製造する自信がない。

②案は、外径、曲げ半径が大きくなることに伴い、ウインチも大きくなり、「かいれい」に搭載不可能となる等現実的に不可能なシステムの改造が必要となる。

ことから適切な提案ではないと判断した。

その後、新たに別のケーブル製造メーカー（Ｒ社）のケブラー型アンビリカルケーブルがコンサルタントA社より提案された。

提案されたケーブルの長所は、以下の通りである。

- 水中重量が小さい（ウインチへの負担が小さい）。
- 動的曲げ半径が小さい。
- 電線の巻きが密になっており、ケーブルの伸びに対して電線の伸びに余裕がある（キンクができにくい）。

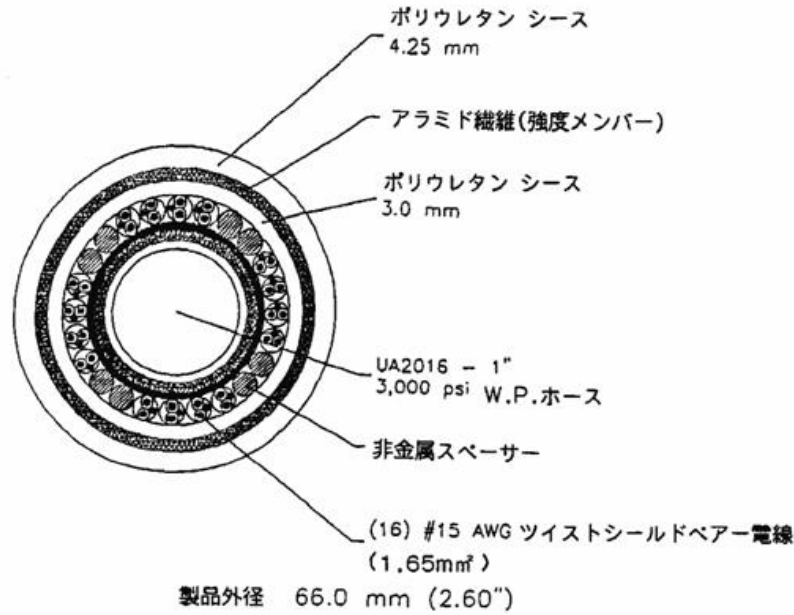
一方、破断強度が 136kN（約 13,868kg）と Ｆ社製（180kN）より小さいが、本システムの運用 3,000 ポンド（約 1,360kg）の 10 倍以上の安全率であり、十分な破断強度である。また、Ｒ社はキンクのないケブラー型アンビリカルケーブルを作成した実績があり、センターの指定した納期までに製造納入が可能である。

以上のことから、アンビリカルケーブルを Ｒ社製ケブラー型に変更することとした。ケーブルの製作にあたっては、以下の通りとした。

①Ｒ社製ケブラー型アンビリカルケーブルの実績調査を代理店にて行う。

②製造ケーブルからサンプルを取り出し、解体検査を実施する。

③解体検査については、サンプルの取り出し方を含めた検査実施方案をセンターに提出し、承認を得る。

新アンビリカルケーブルの構成及び新旧アンビリカルケーブルの比較を図－４に示す。

新旧アンビリカルケーブル比較

		R社製	社製	
		ケブラー鎧装（新ケーブル）	ケブラー鎧装（旧ケーブル）	鉄線鎧装
構造特性（Construction Characteristic）				
	ホース	1インチ高圧ホース 使用圧力3000psi	1インチ高圧ホース 使用圧力3000psi	7/8インチ高圧ホース 使用圧力2000psi
	撚り線	#15AWG（約1.65mm²）撚り線 カドミューム/銅線	1mm²の銅線 2線の撚り線 PEジャケット厚さ0.4mm	1.5mm²の銅線 4線の撚り線 PEジャケット厚さ0.3mm
	内側ジャケット	ポリウレタン 3.0mm	PUR 約2.6mm	PUR 約2.5mm
	強化部材	合成繊維（ケブラー）	合成繊維（ケブラー）	2層のスチール線 直径1.5mm
	外側ジャケット	ポリウレタン 4.25mm	HDPEジャケット 厚さ3.8mm	HDPEジャケット 厚さ3.5mm
機械特性（Mechanical Characteristic）				
	直径	66.0mm	67.5mm	66.0mm
	重量（空気中）	3230kg/km	3250kg/km	5900kg/km
	重量（海中）	−150kg /km	−20kg /km	2400kg /km
	破断強度	130kN（約13.4トン）	180kN（約18トン）	290kN（約29トン）
	曲げ半径（dynamic）	885mm	1100mm	1000mm
	（static）	590mm		
	伸縮率			
	捩れ			
	振動/衝撃			
利点/欠点				
	利点	1）軽い ・操作性が良い ・ウィンチへの負担が少ない 2）高圧に耐えられる 3）曲げ半径が小さい	1）軽い ・操作性が良い ・ウィンチへの負担が少ない 2）高圧に耐えられる	1）破断応力が大きい 2）曲げ半径が小さい？
	欠点	1）破断応力が小さい （但し、作業上は十分な値）	1）曲げ半径が大きい	1）重い 2）船上装置要改造
資料		1/12/2000KBK資料	10/1/1999KBK資料	10/1/1999KBK資料

図－4

3.3 曳航方式の変更

大きな衝撃の影響を受けるガン近傍にアンビリカルケーブルが存在することによって、ケーブル内でキンクしていたケーブルが断線したと推定されるため、ケーブルをガンから遠ざけることについて検討を行った。

（1）トーイングフレーム曳航方式決定の経緯

1500inch3のエアガン４本の配列について初期の段階（平成 10 年 5 月）では、

①１フレームにガン４本を直列に配置

②１フレームにガン１本とし、４フレームを直列に曳航

③4m×5m の四角形フレームの 4 隅にガンを配置

④１フレームにガン２本とし、２フレームを直列に曳航

の案について検討し、「かいれい」、「かいよう」のデッキスペースとの兼ね合いから④案とすることとなった。

平成 10年６月に造船所から曳航イメージが提示され、関係者に事前検討依頼があった。曳航方式は「フロート曳航式」であった。

平成 10年７月１日、プロジェクトチーム打ち合わせにおいて、上記「フロート曳航式」についての検討が行われた。ケーブルへの衝撃を緩和するため、フロートの下面にケーブルを通すガイドを設ける案が出された。

平成 10 年７月 10 日、造船所作成の投入揚収要領を基に検討がなされた。

・吊り上げ索を 100m 伸ばした状態では、アンビリカルケーブルと干渉する恐れがあるため、切り離してアンビリカルケーブルにクランプする方法を検討。

・エアガンのポート間隔を最低 4m 程度（９月３日に 3.7m が提示された）離さない場合、互いの衝撃によるエアガン等の損傷に対する補償はしないとのM社のコメントあり。

・上記コメントに対し、エアガンの向きを反対に（チャンバーを向き合わせる）配置することでも対応可能かA社が確認し、回答することとなった（7月 14 日、A社よりジャンパーケーブルの海水に対する抵抗を考慮すると不可能との回答あり）。

平成 10 年７月 16 日、センター及び関係者からコンサルタントに以下の問合わせを行ったが、その場では回答が出ず、後日報告することとなった。

・１号機のトーイングフレームが流用できないか？

・トーイングフレームを曳航した場合、海面のフロートの向きをコントロールすることは可能か？

その後、具体的な回答は得られなかった。

平成 10 年７月 27 日、A社より「かいれい」の曳航方法についてアンビリカルケーブルでトーイングフレームを直接曳航する方式が提示された。フロートの姿勢制御についての回答は示されなかった。

平成 10 年８月７日の打ち合わせにおいて、「トーイングフレーム曳航方式」の採用が決定された。理由は以下の通り。

・フロートにケーブルを通すガイドを取り付けることにより本来の浮力が得られず、これを補うためにはフロートを大きくする必要がある。

・「かいれい」ガンダビットのスペースの制約からフロートを大きくすることは不可能である。

・「かいよう」はスペースの制約を受けないが、運用上操作要領をできるだけ統一して欲しいとの要望があり、「かいれい」と同じ方式とした。

（２）トーイングフレーム曳航方式採用理由

平成 11 年 10 月 22 日に開催された MCS 信頼性向上ワーキンググループにおいて説明があったコンサルタント側の採用理由を以下に記す。

・フロートを引っ張る方式では、1500inch^{3}という大容量エアガン発振時のトーイングフレーム、ガンの挙動を抑制できないという心配があった。

・トーイングフレームを引っ張ることにより、エアガンの振れを抑えられると考えた。

・フロートを引っ張る方式では、フロートが大きくなり、２連とするため、スペース的に無理と判断した。

また、トーイングシステムはM社が一括納入するため、エアガン発振時の振動・衝撃がケーブルに影響を与えることは考慮しなかった。

（３）フロート曳航方式の採用

前述の理由によりトーイングフレーム曳航方式が採用されたが、アンビリカルケーブルが断線に至った２次的要因と推定されるガン発振の影響を避けるため、フロート曳航方式がA社から提案された。（図－５）この提案を基に、造船所が「かいれい」曳航イメージ及び投入揚収要領を作成し、ワーキンググループ内で以下に重点を置いて検討を行った。

①アンビリカルケーブルを長期にわたって使用する。

②船上装置には極力手を加えない。

③安全性を重視する。
④本来の目的であるデータが正常に取得できる。

検討結果は、ケーブル類、バンドルが増えており、曳航中にケーブル等が交錯し、擦れ等の不具合が発生する可能性がある。投入揚収作業が繁雑になる。また、重量の増加に伴い、投入揚収装置等の能力を再検討する必要があり、場合によっては改造が必要となる可能性がある。という問題点があるが、エアガン８本同時に使用したデータが必要であることから以下を実施することで、フロート曳航方式に改修することとした。

・２号フロート後部ドロップワイヤの曳航時の振動の影響を白嶺丸のシステムを参考に調査する。
・フロートの浮力及び吊り下げ荷重を再確認する。
・曳航時、フロートの強度に問題がないことを確認する。
・下部バンドルの折れ曲がり対策として、軽量化の見直しを行う。
・吊り索の擦れの原因となる金具類の追加には十分な擦れ対策を考慮する。
・２号フロート後部からドロップワイヤを下ろす方法をアンビリカルケーブルハウジングから直接１号トーイングフレームに接続する方法を考慮する。

（４）フロート曳航方式再検討

フロート曳航方式に改修することとしたが、ホース・電線の導入方法について、作業性を考慮して再検討すべきとの意見が多く出されたため、以下のような検討を行った。

１）フロート曳航方式（原案；図－６）

アンビリカルケーブル先端のターミネーションハウジングを長さ数 m のチェーンを介してフロートと接続して曳航する。ホース及び電線は、２本のフロートを経て２号（後部）トーイングフレームに導入する。

本方式では上下２本のバンドルに加え、フロートとトーイングフレームを接続する 10m 以上のホース及び電線が必要になり、投入揚収作業及び船上の格納が極めて煩雑かつ困難になることが予想される。

２）バンドルを１本にしたフロート方式

作業性を考慮して、基本的にはフロート曳航方式を採用するが、バンドルを上下どちらか一方とする。

①アンビリカルケーブルを１号トーイングフレーム（前側）から

導入する。（図－７）
従来方式に最も近いため、作業方法の大幅な変更が不要である。この場合の問題点は、ホース・電線とトーイングフレーム吊り索が干渉する恐れがあること。ターミネーションハウジングがガンから４～５ｍしか離れていないため、ガン発振の衝撃による影響が懸念されることである。

②１号トーイングフレーム（前側）は前から、２号トーイングフレーム（後側）は後からホース・電線を導入し、下部バンドルをなくす。（図－８）この場合、フロートとトーイングフレーム間のホース・電線（長さ 10m 以上）が２本垂れ下がり、作業性が悪くなることが予想される。

③１号及び２号トーイングフレームとも、後からホース・電線を導入し、下部バンドルをなくす。（図－９）この場合も、フロートとトーイングフレーム間のホース・電線（長さ 10m 以上）が２本垂れ下がり、作業性が悪くなることが予想される。

３）アンビリカルケーブルをガンから遠く離したフロート曳航方式（図－10）

ガンの衝撃によるケーブルの損傷を防ぐため、ターミネーションハウジングとフロート間を 30m 程度離し、ターミネーションハウジングからワイヤロープを介してフロートを曳航する。ターミネーションハウジングから分岐したホース・電線はワイヤロープに沿わせて１号トーイングフレーム前側から導入する。

トーイングフレーム側のワイヤロープはフロート側より長めにし、曳航張力の大部分をフロート側に持たせる。ターミネーションハウジングとフロート間の距離（30m）は運用を通じて変更を行うことを考慮する。

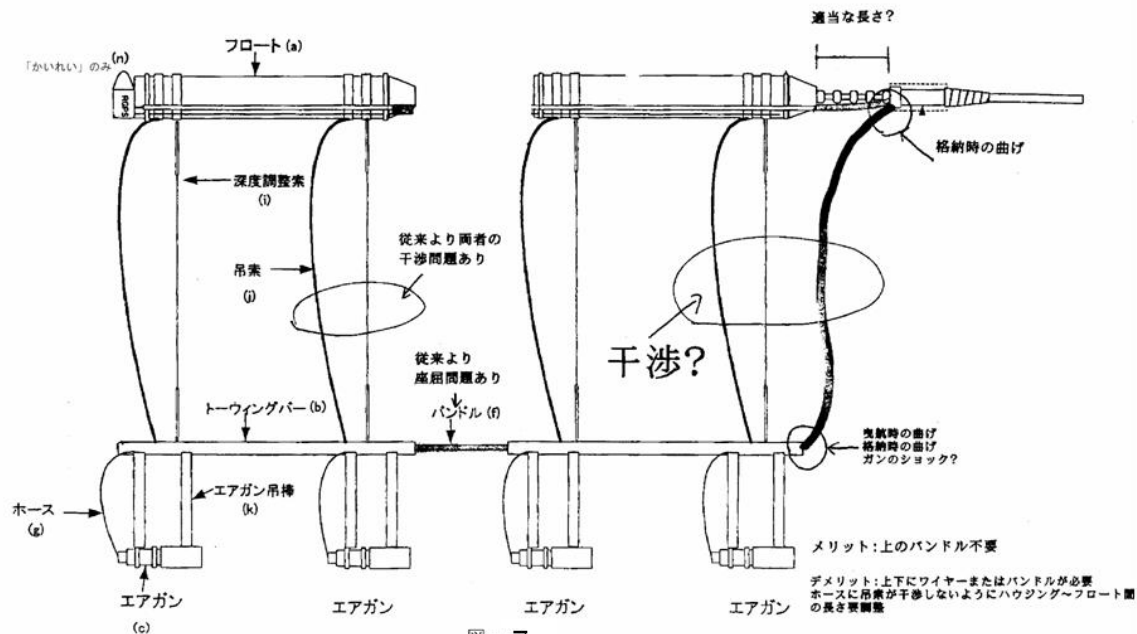
本方式の利点は、アンビリカルケーブルにガン発振の衝撃が伝わりにくいこと、ガン発振によるケーブル張力の変動が生じにくいことである。また、ターミネーションハウジングから分岐したホース・電線を一種の消耗品と見なし、万一これらに障害が発生した場合でもアンビリカルケーブルに手を加えることなく交換可能となる。

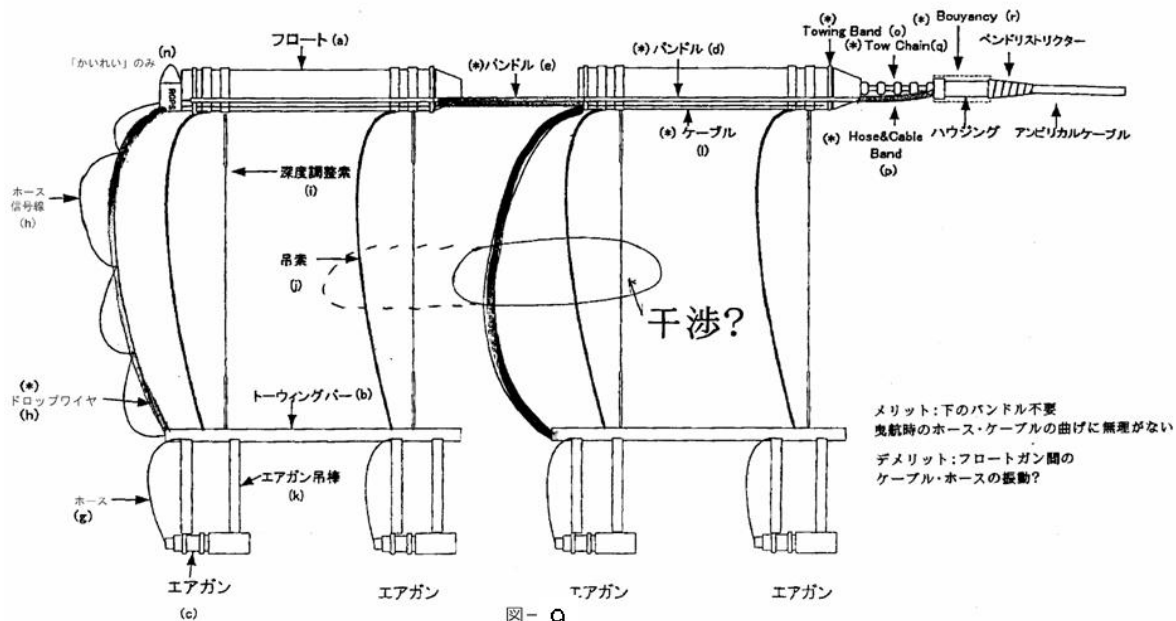
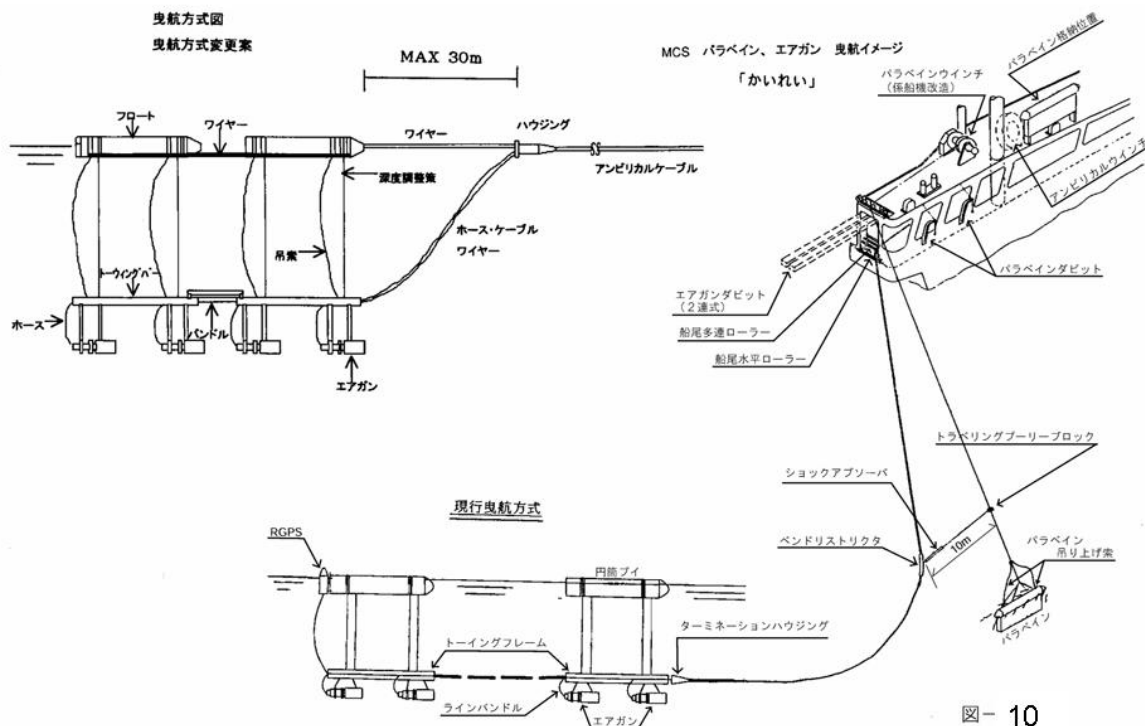
検討の結果、投入揚収に多少時間がかかるが、３）案が運用上、適切であること及びガンの衝撃の影響をケーブルが受けにくいことから「アンビリカルケーブルをガンから遠く離したフロート曳航方式」に変更することとした。

図－ 5

	RGPS	バンドル長
「かいれい」	有り	18m
「かいよう」	無し	3m

図－ 6

エアガンシステム改造案
(*):増加分
RGPS
バンドル長
「かいれい」 有り 18m
「かいよう」 無し 3m
バンドル長:(e)及び
(f)の長さ
バンドルを下1本にする案
適当な長さ?
フロート(a)
「かいれい」のみ(n)
RGPS
格納時の曲げ
深度調整索
(i)
従来より両者の
干渉問題あり
吊索
(j)
干渉?
従来より
座屈問題あり
トーウィングバー(b)
バンドル(f)
曳航時の曲げ
格納時の曲げ
ガンのショック?
ホース
(g)
エアガン吊棒
(k)
メリット:上のバンドル不要
デメリット:上下にワイヤーまたはバンドルが必要
ホースに吊索が干渉しないようにハウジング~フロート間
の長さ要調整
エアガン
(c)
エアガン
エアガン
エアガン
図－7

エアガンシステム改造案
(*):増加分
RGPS
バンドル長
「かいれい」 有り 18m
「かいよう」 無し 3m
下部バンドルをなくす案(1)
(*)
Towing Band (o)
(*) Bouyancy (r)
(*) Tow Chain(q)
ベンドリストリクター
フロート(a)
「かいれい」のみ(n)
RGPS
(*)バンドル(e)
(*)バンドル(d)
(*) ケーブル
(l)
ホース
信号線
(h)
深度調整索
(i)
吊索
(j)
干渉?
(*)
ドロップワイヤ
(h)
トーウィングバー(b)
曳航・格納時の曲げ?
ホース
(g)
エアガン吊棒
(k)
メリット:下部バンドル不要
デメリット:10m以上のホース・ケーブルが
2本垂れ下がる
エアガン
(c)
エアガン
エアガン
エアガン
図－8

	RGPS	バンドル長
「かいれい」	有り	18m
「かいよう」	無し	3m

図－ 9

図－ 10

（５）改修方法

改修要領案を以下の通りとし、ワーキンググループにおいて検討を行った。

１）曳航方法

①フロートをアンビリカルケーブルで曳航する。

②フロートとアンビリカルケーブルターミネーションハウジング間（30m）をビニール被膜ワイヤロープにて接続する。

③１号及び２号フロートはビニール被膜ワイヤロープにて接続する。

④ターミネーションハウジングから分岐したホース・電線はビニール被膜ワイヤロープに沿わせて１号フレーム（前側）に導入する。

⑤ホース・電線を沿わせるワイヤロープはフロート曳航用ワイヤロープより長くし、できるだけ曳航による張力がかからないようにする。

２）ホース及び電線の分岐・接続

①ターミネーションハウジングから分岐したホース・電線は一種の消耗品と考え、交換を用意にするため以下の個所に分岐・接続点を設ける。

・ターミネーションハウジング分岐部

・１号フレーム入口

・１号フレーム出口

・２号フレーム入口

②バンドル

・トーイングフレーム間を接続する従来のバンドルを廃止し、グラスファイバ入り軟質ビニールホースを割いたものにホース・電線を収納する。

・トーイングフレーム間は従来通り、ワイヤロープで接続する。

・ホース・電線を収納した軟質ビニールホースはカラビナ等でワイヤロープに取り付け、自由に動けるようにする。

・軟質ビニールホースは金具（タケノコ）を介してトーイングフレームに金属バンドで取り付ける。必要に応じてビニールホースを二重にする。

③深度調整索と吊り索（チェーン）の干渉防止

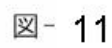
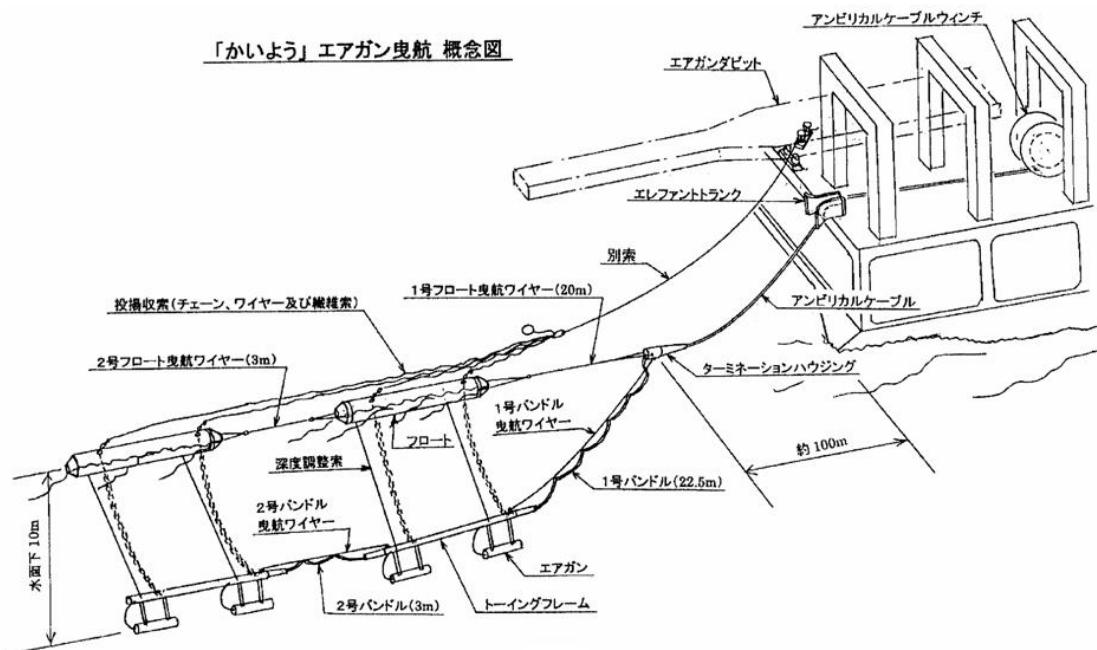
・トーイングフレームの深度調整索用アイの位置を前後にずらし、チェーンと干渉しないようにする（現行のアイは残す）。

上記改修要領にしたがってシステムを変更することとしたが、フロートとアンビリカルケーブルターミネーションハウジング間の曳航ワイヤ長に関しては長すぎて運用上問題があるため、再度検討を行い、「かいれい」14m、「かいよう」20mとした。実際の運用で問題が発生すれば変更することを考慮していたが､平成12 年度の運用において問題は発生しなかった。

「かいれい」、「かいよう」の最終的な MCS 曳航概念図を図－11、図－12 に示す。

「かいれい」
MCS（パラベイン、エアガン）曳航概念図

図－ 11

図－ 12

５．システムの運用

5.1「かいれい」

アンビリカルケーブル、曳航方法を変更し、４月 21 日～４月 23 日に相模湾において MCS 総合確認試験を行った。エアガンの発振回数は400回あまりであった。

その後、KR00-02 日本海溝、KR00-04 千島海溝、KR00-08 三宅島・神津島周辺の計３回の調査行動が実施された。測線数は18 本で観測時間は371 時間、エアガン発振回数は 49,000 回あまりを数えたが、ケーブルの不具合は認められなかった。

5.2「かいよう」

５月 29 日～５月 31 日に房総半島沖において MCS 総合確認試験を行った。エアガンの発振回数は 600 回程度であった。

その後、KY00-02 青森・岩手県沖、KY00-05 北海道東方、KY00-08三宅島・神津島周辺の計３回の調査行動が実施された。測線数は 9 本で観測時間は 141 時間、エアガン発振回数は 6,400 回あまりを数えたが、ケーブルの不具合は認められなかった。

Ⅲ．エアガンバンドル

１．不具合の発生状況

1.1「かいれい」

平成 11 年度の KR99-04 及び KR99-08 行動中に以下の不具合が発生した。

KR99-04 行動中

５月 23 日　両舷バンドルの外皮の一部に折れ曲がりが発生した。特に右舷バンドルは骨組みのスポークが剥き出しとなった。
対応：折れ曲がり部分を修復して調査を続行した。

５月 29 日　右舷バンドルが断裂した。左舷バンドルは骨組みのスポークが剥き出しとなった。
対応：調査終了後に判明したため、次行動前に新換えした。

KR99-08 行動中

前回使用していたものより長いベンドリストリクタを採用したが、効果はなかった。

８月 31 日　両舷バンドルの外皮の一部に折れ曲がりが発生した。
対応：折れ曲がり部分を修復して調査を続行した。

９月 14 日　左舷バンドルがベンドリストリクタから抜け落ちた。右舷バンドルは根元が折れた状態となった。
対応：折れ曲がり部分を修復して調査を続行した。

1.2「かいよう」

平成 11 年度の KY99-03 及び KY99-05 行動中に以下の不具合が発生した。

KY99-03 行動中

６月３日　左舷バンドルに折れ曲がりが発生した。
対応：折れ曲がり部分を修復して調査を続行した。

６月７日　両舷バンドルの外皮の一部に折れ曲がりが発生した。特に左舷バンドルは骨組みのスポークが剥き出しとなった。
対応：折れ曲がり部分を修復して調査を続行した。

KY99-05 行動中

前回使用していたものより長いベンドリストリクタ（「かいれい」の物とは構成が多少異なる）を採用したが、効果はなかった。

８月２日　左舷バンドルに折れ曲がりが発生し、骨組みのスポークが剥き出しとなった。
対応：折れ曲がり部分を修復して調査を続行した。

８月５日　右舷バンドルに折れ曲がりが発生し、骨組みのスポークが剥き出しとなった。

対応：折れ曲がり部分を修復して調査を続行した。

８月６日　右舷バンドルに折れ曲がりが発生し、骨組みのスポークが剥き出しとなった。

対応：折れ曲がり部分を修復して調査を続行した。

２．対策

「かいれい」、「かいよう」とも折れ曲がりが発生した部分はその都度、船上にてゴムラバー、ハマタイト（接着剤）、エスロンテープを使用し、整形、修復を行っていた。

着水・揚収時及び格納時のバンドルの状態から、材質及び構造が自重に耐えられなかったことが原因と考えられる。

平成 11年行動終了後に「かいれい」について、メーカーより脱落及び折れ曲がり防止を考慮したバンドルの提案があったが、バンドル長が18m あり、過去の運用経験から中折れが生じることが容易に想像できるため採用しなかった。

「かいよう」についてもアンビリカルケーブルを改造したようなバンドルの提案があったが、柔軟性に欠けることから採用を見送った。また、「かいれい」と同じ仕様とし、全長を短くする案も検討したが、折れ曲がりが発生する可能性があることから、廃案となった。

ワーキンググループにおいて検討を重ねた結果、従来のバンドルを廃止し、以下の通りとした。

2.1 １号バンドル

①ターミネーションハウジングと１号（前部）トーイングフレームをビニール被膜ワイヤロープで接続する。このワイヤロープを補助ワイヤと称する。

②補助ワイヤロープ長はフロート曳航用ワイヤロープより長くし、できるだけ曳航による張力が掛からないようにする。

「かいれい」：17m（フロート曳航用ワイヤロープ長は14m）

「かいよう」：23m（フロート曳航用ワイヤロープ長は20m）

③ターミネーションハウジングから分岐したエアホース及び電線は半割にしたビニールホースに収納し、補助ワイヤに沿わせて１号トーイングフレームに導入する。これを１号バンドルと称する。

補助ワイヤには２m間隔で１号バンドルを取り付けるためのアイを設ける。

保護用のビニールホースは以下を使用する。

「かいれい」：糸入り軟質ビニールホース

「かいよう」：サニーホース

「かいれい」はショット数が「かいよう」の３倍以上であり、バンドル長が短いため、耐久性を重視して糸入り軟質ビニールホースを採用する。

「かいよう」はショット数が少なく、バンドル長が長いため、耐久性よりも軽量化を重視してサニーホースを採用する。

以下に100kmの測線を調査観測する場合の例を示す。

項　目	「かいれい」	「かいよう」
１号バンドル長	17m	23m
１号バンドル材質	糸入りホース	サニーホース
ショット間隔（距離）	50m間隔	150m間隔
ショット間隔（時間）	20秒間隔	60秒間隔
船速（対水）	４ノット	４ノット
ショット数	2,000ショット	667ショット

2.2　２号バンドル

①トーイングフレーム間を接続するエアホース及び電線は半割にしたビニールホースに収納する。これを２号バンドルと称する。ホースは両船とも糸入り軟質ビニールホースとする。

②トーイングフレーム間は従来通りワイヤで接続する。これを２号バンドルワイヤと称する。

③２号バンドルは金具（カラビナ）にて２号バンドルワイヤに取り付け、自由に動くようにする。２号バンドルワイヤにはアイを設ける。ワイヤロープ長及びアイの間隔は以下の通り。

　「かいれい」：長さ18m、アイは３m間隔

　「かいよう」：長さ３m、アイは２個所

④２号バンドルは金具（タケノコ）を介してトーイングフレームに金属バンドで取り付ける。必要に応じてビニールホースを二重にする。

以上の改修により、バンドル自体が柔軟な構造となり、折れ曲がりや捩れがなくなるとともに、軽量化されたため作業性が向上した。

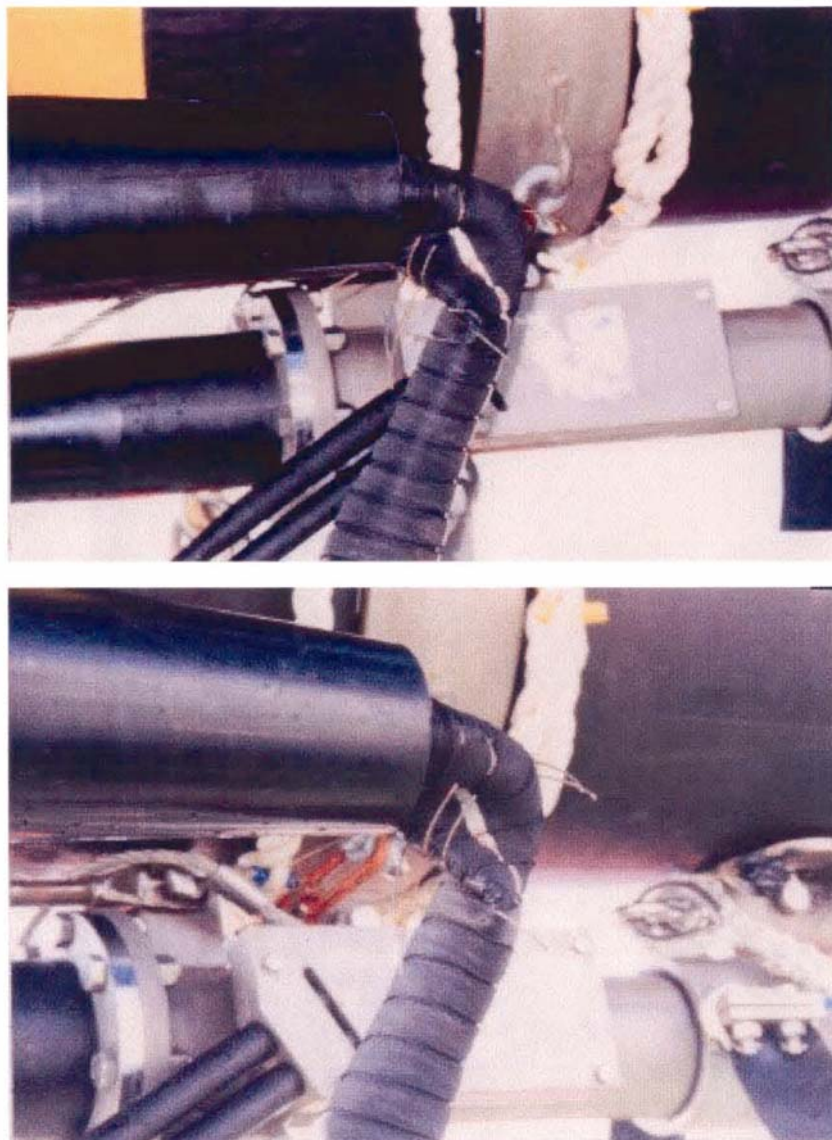
「かいよう」旧バンドルを図－13、図－14、図－15に、対策後のバンドルを図－16、図－17に示す。

かいよう　旧バンドル

図－13

かいよう　旧バンドル

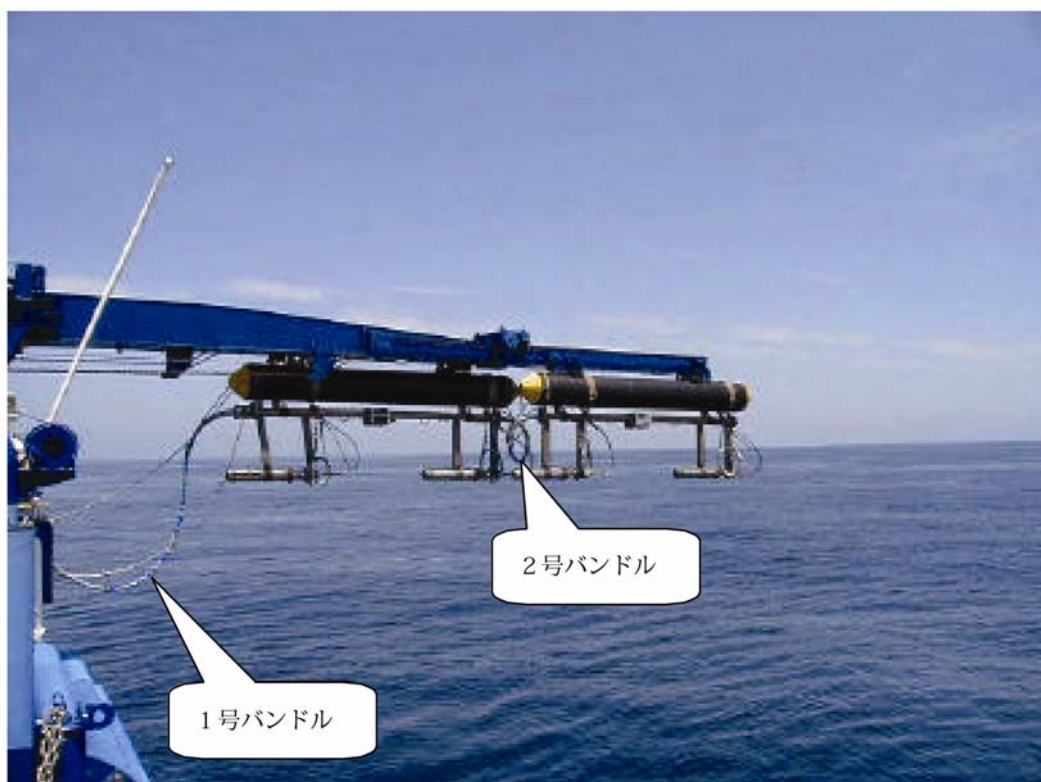
図－14

かいよう　旧バンドル

図－15

「かいよう」新２号バンドル

図－16

「かいよう」新バンドル

図－17

Ⅳ．「かいよう」エアガンコンプレッサ潤滑油水分混入

１．「かいよう」のエアガンコンプレッサについて（装置の概要説明）

「かいよう」のエアガンコンプレッサ（425E 型コンプレッサ）はＰ社製の電動４段レシプロコンプレッサである。

圧縮空気の経路中には、各段のシリンダの後に空気冷却器が、また１段目を除く各段の空気冷却器の後には、圧縮した空気の冷却により生じた凝縮水を取り除くためのドレンセパレータが設けられている。

１段目の空気冷却器の後にはドレンセパレータは設けられていないが、これがメーカー標準となっている。（ただしその後、水分混入防止対策として追加された。）

ドレンセパレータに捕捉されたドレンは、タイマーと電磁弁により定期的に排出される。

コンプレッサの上部には潤滑油（以下 LO という）のヘッドタンクが設置されており、ここからコンプレッサ付属の LO ポンプにより、コンプレッサ本体（クランクケース）内の各ベアリングへ LO が供給される。

ベアリングを潤滑した LO はクランクケースの底に溜まり、別の LO ポンプによりヘッドタンクへ戻される。

LO はヘッドタンクへ戻る途中で水冷の LO 冷却器を通過する。

上記の構造から、LO 中に混入する水分の起源としては冷却清水及び外気に含まれる水蒸気の凝縮水の２種類、また水分が混入する経路としては次の３個所が考えられる。

経　　　路	原　　　　　　因
LO 冷却器	冷却器内部の亀裂等により冷却清水が LO へ混入する
クランクケース	①各段のドレンセパレータで取りきれなかった圧縮空気中の凝縮水が下流の段のシリンダ内へ流れ込み、ピストンリングとの間から圧縮空気とともにクランクケース内へ吹き込み、LO へ混入する ②ドレンセパレータに溜まったドレンが十分に排出されず、下流のシリンダ内へオーバーフローし、上記①と同様に、ピストンリングとの間から圧縮空気とともにクランクケース内へ吹き込み、LO へ混入する ③凝縮水そのものは吹き込まなくても、水蒸気で飽和した高圧空気がシリンダとピストンリングとの間からクランクケース内へ吹き込み、クランクケース内で温度が低下して結露し、その水が LO へ混入する ④シリンダジャケットを冷却する冷却清水がシリンダライナーとクランクケースとの隙間から漏れてクランクケース内へ落ち、LO へ混入する
ヘッドタンク	大気中の水蒸気がヘッドタンク内面で結露し、その水が LO へ混入する

２．事実経過

平成 11 年５月のエアガンコンプレッサ搭載後から、平成 12 年度の調査航海終了までの間、水分混入に関する経過は以下のとおりである。

１）平成 11 年５月の、コンプレッサ搭載後の試運転時には、LO の異常は認められなかった。

また６月初めの海上運転時にも LO の異常は報告されていない。（ただし上記両ケースとも LO の水分計測を行ったわけではないので、水分混入の有無は不明である。）

２）平成 11 年６月の最初の調査航海時に、LO への水分混入の報告があった。また７月には、コンプレッサの維持管理のための短時間のメンテナンスランニングにおいても水分の混入が生じることが報告された。

３）LO への水分混入の原因については、冷却水の漏れ、コンプレッサ本体の過冷却によるクランクケース内での水分凝縮等が考えられたため、過冷却になりにくい運転方法の提案、ドレンセパレータのドレン排出タイマーの設定変更、ヘッドタンクの防熱、ヘッドタンク部 LO 配管の改善等を行い、確認運転を実施したが、改善は見られなかった。

（１号機にて、30 分の運転で 1.2%超（簡易計測値）の水分混入あり。）

なお冷却水の漏れは生じていなかった。

上記以外の水分混入の原因として、高温、多湿の環境下での運転において、１段目の空気冷却器内で凝縮水が発生し、１段目にはドレンセパレータが無いため、その凝縮水が２段目（あるいはそれ以降の）シリンダ内へ流入し、ピストンリングとの隙間から高圧空気とともにクランクケース内へ入り、LO に混入することが考えられた。

４）平成 11 年７月、応急処置として、簡単なドレンセパレータを１段目空気冷却器の後に設置したが、有意な効果が見られなかった。

（１号機にて、1.5 時間の運転で 3.5%（簡易計測値）の水分混入あり。）

そのため、８月の調査航海は、LO 中の水分量を計測しながら、適宜 LO を交換（抜き取り及び補充）して運転を行っていた。

（１号機にて、10 時間で 10%程度（簡易計測値）の水分混入あり。）

５）高温、多湿の環境下では、１段目の空気冷却器で多量の凝縮水が発生することが計算で確かめられたため、応急処置としてのドレンセパレータに代えて、十分な能力のセパレータを装備することとし、平成 12 年２月の改造工事ドック時に取付工事を実施した。

６）上記セパレータ取付後、直ちに確認運転を行ったが、このとき LO への水分混入は全く見られなかった。

（１号機にて、３時間で 0.07%（簡易計測値）の水分でほぼ一定。）

これは同セパレータの効果というより、２月の低温、低湿度の外気条件では計算上１段目には凝縮水が発生せず、２段目以降で発生した凝縮水も既存のセパレータで除去されたためと考えられた。

７）１段目セパレータの効果を確認するため、平成１２年４月ドックにて、コンプレッサ室を本船雑用蒸気で加湿し、高温多湿の条件を再現して確認運転を実施した。

その結果、水分混入の程度に改善は見られたものの、高温、多湿の条件では相変わらず水分混入が生じることが判明した。

（１号機にて、３時間で３％（簡易計測値）の水分混入あり。）

なおこのときの湿度条件が厳しすぎた可能性があったこと及び水分計測の結果に疑問があったことから、5 月 11 日にセンター殿岸壁にて再度確認運転を行ったが、結果は上記とほぼ同様であった。

（１号機にて、５時間で 3.8％（正式分析値）の水分混入あり。）

８）平成 12 年６月の調査航海に対応するため、上記確認運転の結果を踏まえて、さらに下記対策を実施することとした。

① １段目にドレンセパレータを設置したので、２段目以降のシリンダへ凝縮水が流れ込んでそこからクランクケース内へ水が入る不具合はかなり改善されたと考えられたが、にもかかわらず水分混入が止まらないことから、各段のシリンダからクランクケース内に漏れ出た高圧空気中の水蒸気が、クランクケース内で凝縮していることが改めて原因の一つと考えられた。

水蒸気の凝縮を防止するには、クランクケース内の温度をできるだけ高くする必要があるので、LO の冷却水の流量を絞り、許容限度内においてできるだけ LO の温度を高くして運転することとした。

LO の温度を高くすることで、LO 中の水分の蒸発を促し、LO 中の水分を低下させる効果も期待された。

② 425E 型コンプレッサは、LO への水分混入が生じ易い構造であると考えられたこと、また LO の温度を上げて運転しても期待したような効果が得られない場合のことを考え、造船所の判断にて、LO 中の水分の除去を行うための油中水分離器を設置することとした。

９）上記対策を織り込んで、平成 12 年５月 25 日及び 26 日に、コンプレッサ室加湿状態にて確認運転を実施した。運転は１号機で行った。（従来から、１号機の方が水分混入が多く、１号機で問題が解決されれば同じ対策で２号機も問題はないと判断できるため。）

① まず油中水分離器は使わず、LO の温度を上げて運転した。（LO の冷却水は流量０とした。LO の温度は、目標値 70℃に対し最高 66℃まで上昇。）
コンプレッサ室内条件（気温、湿度）： 38℃、60％程度
水分量は、８時間で 1.6％（正式分析値）となった。（運転後半で水分量の上昇傾向が認められたが運転は８時間で終了した。）

② 次に油中水分離器を併用しての運転を行った。（LO の冷却水量を絞り、LO 温度を若干上げて（48℃程度で）運転実施。）
コンプレッサ室内条件（気温、湿度）： 35℃、60％程度
水分量は、３時間で 0.56％（正式分析値）となった。

10）平成 12 年６月の調査航海では油中水分離器を併用し、次ぎのような運転結果となった。

① ６月８日昼から６月９日朝までの約１８時間運転時
コンプレッサ室内条件（気温、湿度）： 31℃、40％程度
１号機：LO 油温 49℃～55℃、水分量 0.15％程度（簡易計測値）で推移
２号機：LO 油温 49℃～53℃、水分量 0.07％程度（簡易計測値）で推移

② ６月 10 日朝から６月 11 日夜までの約３６時間運転時
コンプレッサ室内条件（気温、湿度）： 35℃、38％程度
１号機：LO 油温 49℃～56℃、水分量 0.17％程度（簡易計測値）で推移

２号機：LO 油温 45℃～55℃、水分量 0.05％程度（簡易計測値）で推移

11）　平成 12 年８月及び 10 月の調査航海においても油中水分離器を併用し、上記６月の調査航海時とほぼ同様の結果を得た。

３．LO 中の水分の許容値について

水分の許容値はコンプレッサメーカーが決めねばならないが、以下に述べるとおりこの数値がなかなか定まらず、常に問題となってきた。

現在、メーカーの決定値は「通常運転時３％」である。

現状の取扱説明書には水分の許容値に関する記述はなく、LO の交換時間の目安が書いてあるだけである。

そのため水分混入が問題となった当初改めて質問を出したが、メーカーからの回答は「乳化したら交換」であった。定量的な判断基準を重ねて問い合せた結果、「１％」との回答を得た。

平成 11 年７月、この１％を目安に確認運転を行ったところ、30 分ほどで１％を超えてしまい、確認運転にならなかった。

対策検討及び確認運転をさらに行わねばならないため、水分の許容値をいくらにすべきかメーカーと協議した結果、確認運転のための暫定値という条件で「3.5%」で行くこととなった。

しかし対策検討後の確認運転では、1.5 時間の運転で 3.5%に達してしまい、このままでは調査航海の実施も困難な状況であった。

それまでに分かっていた水分の増加率と、調査で要求されるコンプレッサの最低連続運転時間とを勘案し、LO の全量交換間隔 12 時間以上、水分上限「10％」、という条件で平成 11 年８月の調査航海を実施した。

上記条件で調査航海を実施、終了し、前述の経緯を経て今日に至っているが、その間さらに水分許容値についてメーカーへ問い合わせを続けてきた。現在までにメーカーから得た回答をまとめると次のとおりである。

① 水分許容値については、当初明確な基準はなかった。

② 「かいよう」のコンプレッサの水分混入の多さを十分に認識していなかったため、「乳化したら交換」あるいは「１％」という、これが守られていれば全く問題ないと考えられる、かなり安全側の回答をした。

③ その後これでは先に進めないことが分かったので、しかし十分な調査、検討を行う余裕もなかったので、短期間の暫定値として「3.5％」で行くこととした。

④ 「10％」は緊急避難的な、やむを得ぬ数値であった。

⑤ その後Ｐ社の 500 台以上の同種のコンプレッサーでの経験と稼動実績、Ｐ社技術者及びオペレーターからの点検報告等をもとに検討し、425E 型コンプレッサの水分許容値として、

Normal Max.	３％	(Running)
Absolute Max.	５％	(Running)
Long Term Storage Max.	１％	

を決定した。

⑥ 「かいよう」ではシェルの LO を使用しているので、Ｓ社と打合せを行い、425E 型コンプレッサのベアリング荷重、材質等の資料を渡して検討を依頼した。

その結果、水分「３％」までならば問題はない、水分「５％」の状態を継続すると LO に添加した防錆剤の機能が損なわれる恐れがあり、コンプレッサ内部に錆が生じる危険性がある、との回答を得た。

⑦ 水分許容値については混乱があったが、Ｐ社としては、上記⑤の許容値以内の運転ならば全く問題はないと判断したので了解してほしい。

水分許容値については、国内のコンプレッサメーカーに問い合せても具体

的な数値の回答が得られず、あいまいなグレーゾーンとなっていて、議論のあるところである。
日本舶用機関学会・機関研究委員会がとりまとめた「舶用機関部補機保守基準」（昭和 50 年、海文堂）には、空気圧縮機の潤滑油の「目安としての使用限度」として、「水分：混入率が２～３％以内」とあり、またメーカーは上記のとおり LO メーカーの見解も踏まえて、通常運転時「３％」までなら全く問題ないと明言している。
造船所としてはメーカーの決定した水分許容値を否定できるほどの根拠は持っていないが、３％という数値は一般的な機械の潤滑油運用上限値としては高めではないかと考えている。

４．水分混入の原因推定

上記１．で述べた水分混入経路毎にその可能性を検討した。

１）LO 冷却器からの冷却清水の混入は、以下の理由から可能性はないと判断される。

① コンプレッサの冷却清水系統にはヘッドタンクが設けられており、常時静水圧が掛かっている。このヘッドタンクの水位は長期間にわたり変動（低下）がない。

② 平成 12 年２月のドック時に、前年の夏に水分混入を生じたときの状態と同じ状態のコンプレッサで確認運転を行ったが、このとき LO への水分混入は全く見られなかった。全く未対策のコンプレッサでも外気条件が低温低湿ならば水分混入は起こさないこと、また冷却清水の漏洩は全く無いことが確認された。

２）上記と同様の理由から、シリンダジャケットを冷却する冷却清水がシリンダライナーとクランクケースとの隙間から漏れて LO へ混入した可能性はないと判断される。

３）ヘッドタンクでの水分混入は、以下の理由から可能性は低いと考えら

れる。

① 水分混入はコンプレッサの運転中に生じているが、運転が始まるとL0の温度が上昇し、ヘッドタンクの壁の温度も上昇する。ヘッドタンクの壁の温度は L0 の温度にほぼ等しくなり、大気の温度より高くなるので、大気中の水分がヘッドタンク内面で結露する可能性はない。

② コンプレッサ休止中に結露が生じる可能性はあるが、昨年来生じている水分混入の現象からは、それが今回の水分混入の主たる原因とは考えにくい状況である。すなわち、当初（平成 11 年度）の運転における水分混入の度合いはおおよそ１時間に１％程度だったが、L0の総容量が約80Lであることを考えると、１時間に800cc程度の水が入ることとなり、ヘッドタンク内でそのような多量の結露が生じることは考えられない。

４）残る原因としてはクランクケース内での凝縮水の混入であり、この可能性が最も高いと考える。

① コンプレッサに吸入される大気の温度と湿度の条件によっては、１段目の空気冷却器内でも圧縮空気中の水蒸気が凝縮して水が生じる。当初（平成 11 年度中）、１段目の空気冷却器の後にはドレンセパレータは設けられていなかったので、夏季の高温多湿の条件下ではこの凝縮水が２段（あるいはそれ以降の下流の）シリンダに流入したと考えられる。シリンダとピストンリングとの間にはわずかな隙間があるので、圧縮空気とともにこの凝縮水がクランクケース内へ吹き込んだ可能性がある。

② 平成 12 年２月のドックで１段目にドレンセパレータを追加したので、それ以降の運転においては上記①の２段シリンダにおける凝縮水の吹き込みは、０にはならないにしても、減少したと考えられる。しかしそれでも水分混入は生じているので、水分混入の主たる原因は、２、３、４段シリンダにおいて水蒸気で飽和した高圧空気がピストンリングとの間からクランクケース内へ吹き込み、クランクケース内で温度が露点以下に低下し結露するためと考えられる。

③ なおドレンセパレータに溜まったドレンが十分に排出されず、下流の

シリンダにオーバーフローする可能性については、ドレン排出用の電磁弁が作動したときの各段の空気圧の低下状況から、その可能性はないと考えられる。

５)コンプレッサの構造から見た水分浸入経路の推定は上記のとおりだが、１）LO冷却器の項で述べたとおり、大気条件が低温低湿であるなら、何ら対策を施さなくても現コンプレッサで水分混入は生じなかった。現コンプレッサは高温多湿の大気条件を考慮して計画されていないように思われ、そのような条件下ではどうしても水分混入が生じてしまうと考えられる。

５．水分混入防止対策の検討

水分混入防止対策はコンプレッサ自体で行うことが本筋なので、前項の検討結果を踏まえて、クランクケース内での凝縮水の混入防止方法を検討した。

シリンダとピストンリングとの隙間からクランクケースに吹き込む空気（blow－by）の量を少なくするか、クランクケース内の温度を上げ、結露を防止すれば水分の混入は防げるが、以下に述べるとおり、いずれも実施が困難か十分な効果が期待できず、現コンプレッサではコンプレッサ自体で水分の混入を防ぐということは非常に難しいと考えざるを得ない。

またコンプレッサに入る空気を除湿する方法も検討したが、実施は非常に難しいと考えている。

１）シリンダとピストンリングとの隙間からクランクケースに吹き込む空気（blow－by）の量を少なくする方法

① 現コンプレッサの blow－by の程度についてはメーカー技師が計測を行い、メーカーの基準値以内に収まっていることを確認している。すなわち、現コンプレッサの blow－by が異常に多いということはないことを確認済みである。

② また現コンプレッサのシリンダを開放した際に、シリンダとピスト

ンリングとの擦り合わせ状態を点検し、造船所の品質保証担当技師も問題がないことを確認している。

③　従って、現コンプレッサにおいてはこれ以上 blow－by の量を少なくすることは難しいと考える。

④　なお現コンプレッサのシリンダ下端はクランクケース内に開放しており、blow－by の空気は直接クランクケースに入る構造となっている。シリンダ下端に壁を追加し、ピストンロッドの貫通部に気密のシールを設けて blow－by を別途クランクケースの外に導けば、水分混入の防止には非常に有効と思われるが、このような変更はコンプレッサの設計を根本から変えることであり、改造工事でできる範囲を超えていて、実施は困難と考える。

２）クランクケース内の温度を上げ、結露を防止する方法

①　コンプレッサは閉回路の冷却清水により冷却される。冷却される個所は空気冷却器、LO 冷却器及びシリンダジャケットである。冷却清水は設定温度以上にならないよう海水により冷却される。LO はベアリングの潤滑を行うと同時にベアリング部の冷却も行う。

②　クランクケース内の温度を上げるための方法として、メーカーはＬＯ冷却器の冷却清水を遮断し、LO の温度を上げることを推奨している。

③　上記の方法は既に確認運転を実施し、詳細は後述するが、メーカーはこの方法で水分量３％以下での連続運転ができると主張している。

④　しかし造船所としては、確認運転時のデータからは水分量３％以下での連続運転は難しいのではないかと考えており、LO の温度を上げるだけでは水分混入防止対策としては不十分ではないかと考えている。

⑤　冷却清水の設定温度を上げるという方法も考えられ、クランクケース内の温度を上げる非常に有効な方法と思われる。しかし同時に空気冷却器を出る空気の温度すなわち飽和空気の露点温度も上げることとなり、クランクケース内での結露を防止するという観点からはあまり有効な方法ではなかろうと考える。またこの方法では圧縮空気の温度が上がり、コンプレッサの性能低下及び運転緒元の変更が生じるので、再度性能確認の試運転を行う必要があろうと考える。

メーカーも冷却清水の温度設定変更については一切言及しておらず、水

分混入防止対策としては不適切と考える。

３）コンプレッサが吸入する空気を除湿する方法

① 現コンプレッサの吸入空気量は２台合計で約 23m3／分である。

② 夏季の外気（気温 32℃、相対湿度 70％程度）をどの程度まで除湿すれば水分混入がなくなるのか予想することは非常に難しいが、平成１２年２月ドック時の確認運転時の室内条件（20℃、30％程度）ならば水分混入が生じないという実績があるので、この条件を満たす容量の除湿装置があれば十分と考える。

③ しかしこの条件の空気を冷凍機を用いた除湿機で得ようとすると、外気を一度０℃近くまで冷やす必要があり、長時間の連続運転を行おうとすると、冷却器部分の除霜を行う必要から、同等能力の装置を２組設けて交互運転を行う等、複雑な装置となる。

また外気温度が低い場合には冷凍機が停止してしまうため、外気温度何度までこの装置を使うのかという運転条件の設定とそれに対応した機器構成、制御方式を選ぶ必要があるが、外気条件と水分混入の関係を把握することが難しく、装置の計画には困難が予想される。

④ 一方上記の冷凍機だけを使う方式の問題点を回避する方式として、乾式除湿機と冷凍機（プレクーラー、アフタークーラー）を組み合わせた除湿システムも考えられるが、構成機器が増えて複雑になるとともに、艤装（配置）上も困難が予想される。

⑤ 外気の除湿を行うという対策は適切ではないと判断する。

６．潤滑油水分混入問題に対するメーカーの見解

メーカーは、平成 12 年５月に実施した確認運転の結果を踏まえ、現状のコンプレッサで水分混入問題は解決できたと主張している。すなわち、

１）１段目にドレンセパレータを設置したことにより１段目の空気冷却器で発生する凝縮水は確実に除去できるようになった。

２)クランクケース内に吹き込む空気によるクランクケース内での結露は、ＬＯ冷却器の冷却清水を遮断し、LO の温度を高くして運転すれば防止できる。

３）上記により、このコンプレッサは高温多湿の環境下でも、水分量３％以下での連続運転が可能であり、それは平成 12 年５月の確認運転（８時間の運転で水分量 1.6%）で実証された。

４）ＬＯ中の水分量の許容値は下記のように設定した。３%以下ならばコンプレッサに問題はないことを、潤滑油メーカーのＳ社に確認した。

Normal Max.	３％	(Running)
Absolute Max.	５％	(Running)
Long Term Storage Max.	１％	

５）以上から、現状のコンプレッサにて水分混入問題は解決している。また水分の除去装置は必要ない。

７．造船所の見解（提案）

１）平成 12 年５月の確認運転において、８時間の運転で水分量１．６％という結果を得てるが、造船所は確認運転時の水分量の時間変化等を考えると３%以下での連続運転には疑問を持っており、また水分量３％という数値に対しては確固たる反論の根拠は持っていないが、一般的な機械

の潤滑油運用上限値としては高めではないかと考えている。

２）造船所としては、現コンプレッサを現状のまま単独で運転することには十分な自信が持てないため、メーカーの主張を全面的に受け入れることなく、何らかの方策を取っておくほうが望ましいと考える。そしてそのような方策を取れば、本コンプレッサは今後もメーカーの保証のもとで引き続き使用可能と考えている。

３）一方メーカーはそうした対策の必要性を認めず、再三にわたる造船所からの要求に対しても前述の主張を繰り返すだけで、この先もメーカーが更なる対策を実施する可能性は非常に低く、この状況は今後も変わらないと判断せざるを得ない状況である。

４）上記状況を踏まえ、造船所は現コンプレッサに対し造船所独自で対策を実施し、現コンプレッサを引き続き使用することを提案する。

５）造船所は平成 12 年５月の確認運転に際し、メーカーの行う対策が効果を発揮しなかった場合でも同年６月の調査航海に支障をきたさないよう、入ってしまった水分を取り除く油中水分離器を造船所の判断で設置した。前述のとおりコンプレッサ本体に対する対策は非常に難しいため、むしろ入ってしまった水分を除去する（そのような設備を付加する）方策が最も有効で現実的な対策であると考えた結果である。この油中水分離器が本船側の注意深い運用により十分な性能を発揮した。

本装置の処理能力は、平成 11 年度の調査航海で生じたような水分混入が続いても、LO 中の水分を簡易計測器で測定できる程度のレベル（おおよそ１％程度）に留めることを目標に決定している。

（簡易計測キットは 1.2％程度までの水分しか測定できないので、水分が１％を超える状況になってきたときには LO（試料）の量を減らして測定し、得た値を試料の減少割合に応じて割り増しするという方法を採らざるを得なかった。

１％程度までは簡易計測の結果と正式分析の結果とは比較的よく合うが、１％を超えてくると誤差が大きくなることが両方式の結果比較から分かってきたので、油中水分離器の能力の目安を水分量１％程度とした。）

平成 12 年５月の設置工事では､コンプレッサ１台に本装置１台を横に置き、コンプレッサ本体の LO 系統とは別に、ヘッドタンクから吸ってヘッドタンクへ戻す系統を仮設した。

コンプレッサの LO 系統は 22L/Min の LO ポンプで循環しており、この LO 系統中の水分混入率を１％程度に抑えるという条件で検討し、処理能力８L/Min の装置を選定した。

約１／３の量の LO をフィルタリングしていることになる。

装置自体の性能としては､水分混入率 0.5%程度の LO を通したときに水分が 0.06%程度まで低下したことを確認している。

コンプレッサの LO ポンプの容量と同じ程度の容量の油中水分離器を設置し、LO 全量を本装置に通せば、LO 系統全体で 0.06%程度の水分量が期待できるわけであるが、上述のとおり、水分量１％を目安に機器選定を行った。

６）造船所は独自の対策として、この油中水分離器を恒久的に設置することを提案する。

７）メーカーは油中水分離器に対しては、設置の必要はないと主張しているだけで、この装置の設置を拒否しているわけではないので、造船所の判断による設置は問題ないと考えている。

ただし設置のためにはコンプレッサ本体にも一部手を加える必要が出てくると思われ、今後メーカーとの協議が必要になる。

８）なお油中水分離器が LO に悪影響を与えるものではないことを確認するために、確認運転で油中水分離器を使用した後の LO を LO メーカーへ送り、分析を行ったが、その結果に問題はなかった。

平成 12 年６月の調査航海で使用した LO も分析に出したが、これも特に問題はなかった。

９）油中水分離器の設置は、メーカーの保証する運転条件よりさらに低い潤滑油の水分レベルを保ち、コンプレッサ運転時の信頼性を向上するための方策である。

コンプレッサ本体の性能を改善するものではないので、これによりメーカーの保証条件を変えられるわけではなく、また造船所がメーカーの主張する条件よりも厳しい条件での保証を行うこともできないが、油中水分離器の設置により現コンプレッサの信頼性は確実に高まると考えている。

８．油中水分離器設置要領

平成１２年度中の３回の調査航海における本船側による運用の結果を踏まえ、また新たな設備の付加による運転管理の手間の増大をできるだけ抑えるよう配慮して、油中水分離器を設置する。

１）現在仮設置している油中水分離器を引き続き使用する。
２）LO の処理の方式も現状と同じく、ヘッドタンクから吸引しヘッドタンクへ戻す側流清浄とする。
３）コンプレッサ～油中水分離器間の LO 配管を可能な範囲で銅管の固定配管とする。
４）電源のラインを固定配線とする。
５）ヘッドタンクへの LO の戻り配管を固定するためにヘッドタンクの一部改造を行う。
６）LO の高温警報を設置する。
７）クランクケースからの排気を船底のドレンタンクに導く恒久的な配管を設ける。

８）現コンプレッサの LO ポンプの容量は 22 L／分である。一方現状の油中水分離器の処理容量は８Ｌ／分で、コンプレッサ内を循環する LO の約１／３を取り出してフィルタリングしている。

この処理容量は、平成 11 年度の調査航海で生じたような、１時間に１％程度の水分混入が連続して生じても、LO 中の水分量を１％程度に抑えられるよう決めており、平成 12 年度の３回の調査航海においても十分な性能を発揮しているので、この側流清浄方式で何ら問題はないと考えている。

９）コンプレッサ内で循環している LO の全量をフィルタリングすれば水分量をより低くできるが、その効果を得るにはヘッドタンクの改造が必要となる。

しかし造船所が独自に行う対策であるので、ヘッドタンクの改造まで行うことは困難であり、またメーカーは対策実施の必要性を認めていないのでメーカーによるヘッドタンクの改造は期待できない。

10）LO の高温警報を設け、LO の温度管理に付随する作業の省力化を図る。油中水分離器の恒久設置後に確認運転を行っておけば、油中水分離器を追加したことによる運転管理の手間の増大は僅かであると考えている。

11）メーカーは LO 中の水分量に関し、

Normal Max.	３％（Running）
Absolute Max.	５％（Running）
Long Term Storage Max.	１％

という基準を示している。

一方造船所は、メーカー基準とは異なる１％程度を上限にした運転を目標にしているので、造船所として、水分量の基準を含む運転管理基準を別途作成し、提出する。

以上

Ｖ．「かいれい」不具合と対策

１．アンビリカルケーブルウインチ

1.1 不具合の状況

平成 11 年度最初の MCS 行動 KR99-04：南海トラフ・室戸沖において、ケーブル揚収時のウインチの力量不足が判明し、人力による介添えをする必要があった。それ以後の KR99-08：日本海溝・宮城沖においても行動を通し、同様な状態で揚収を行った。

・ KR99-04 行動中（５月２ 日～６月 10 日）
対水船速２ノットにてケーブルを巻き込むが、完全に巻き取れないため、途中から人力による介添えを行い巻き取った。

・ KR99-08 行動中（８月 16 日～9 月 26 日）
対水船速２ノットにてケーブルを巻き込むが、完全に巻き取れないため、途中から人力による介添えを行い巻き取った。

1.2 対策

エアガン揚収時の対水船速は、「通常のオペレーションで問題ない速度」としてＡ社にリクエストし、３次元 MCS プロジェクト会議にて「だいたい２～３ノット」で合意した。この「２～３ノット」は特に意味のある数字ではなく、これまで他機関も含めた経験的な数字である。本不具合は同じウインチを使用しているにも関わらず、「かいよう」に発生していない。「かいれい」と「かいよう」の相違点はパラベインの曳航の有無である。

「かいれい」のウインチの力量を再検討したところ、牽引力の不足が明らかとなった。ウインチの仕様を決定する際、パラベインを曳航することを考慮しなかったことが原因である。

平成 12 年４月８日～４月 14 日、センター入港中にウィンチの油圧モーターを高出力型（Apis 90cc）に交換した。

KR00-02 行動中（洋上作動試験、４月 21 日～４月 23 日）に船速３ノットでパラベインを含むケーブル全てを巻き取り可能なことを確認した。また、船速４ノットでも巻き取り可能なことを確認した。

２．パラベインダビット投入揚収用ウインチ

2.1 不具合の状況

平成 11 年度最初の MCS 行動 KR99-04：南海トラフ・室戸沖において、ウィンチ速度が遅いため、投入揚収に時間が掛かりすぎることが判明した。

2.2 対策

平成 11 年度中間検査工事（２月９日～３月 10 日）にて各舷２台、計４台の投入揚収用ウィンチの電動機を 3.7kW・１速（5.9 m/min）から 5.5kW・２速（５m/min、10m/min）のものに交換した。新旧電動機の比較を以下に示す。

要　　目	改　造　品	旧　　品
型式	ZMBD-160-8.0-240S-R	GMBD130-5.0-240S
減速比	1/300	1/252
ワイヤ巻取長	φ12×(20m+20m)	φ12×(20m+20m)
出力	5.5 kW	3.7 kW
電圧	440 V	440 V
周波数	60 Hz　2/4 P	60 Hz　4 P
ロープ力量	1,250/2,500 kgf	1,630 kgf
ロープ速度（４層目）	10/5 m/min.	5.9 m/min.
重量	約 330 kg	約 230 kg

３．エアガンジャンパーエアホース

3.1 不具合の状況

平成 11 年度最初の MCS 行動 KR99-04：南海トラフ・室戸沖において、エアガンに圧縮空気を供給するジャンパーエアホースの口金が折れ、エア漏れを起こした。

５月２日～６月 10 日

No.３（左舷）エアガンからエア漏れが発生した。エアガン側に取り付けるユニバーサル式の口金が破断していた。

3.2 対策

全てのジャンパーエアホースについて、直接エアガンにねじ込む方式の口金に交換した。

４．R-GPS アンテナ取り付け

4.1 不具合の状況

平成 11 年度最初の MCS 行動 KR99-04：南海トラフ・室戸沖において、エアガン R-GPS アンテナの取り付け、取り外しの際、船外に身を大きく乗り出さなければならない作業であることが判明した。

4.2 対策

平成 11 年度中間検査工事（２月９日～３月 10 日）において、船尾に取り外し可能な張り出し作業台を設けたことにより、作業環境は改善され、安全性が確保された。

5．キングポスト他

5.1 不具合の状況

KR99-08：日本海溝・宮城沖において、ストリーマーケーブル曳航中に左右舷のエアガンをそれぞれ揚収し、再投入を行った。その際、作業が繁雑であり、非常に時間を要した。

5.2 対策

平成 11 年度中間検査工事（２月９日～３月 10 日）において、エアガン揚収時、ストリーマーケーブルを反対舷に寄せることができるようにケーブル引き寄せ用ガイドを新規製作するとともに、昇降装置にケーブル保護板の追加とキングポストの高さを約１m 低くする改造を実施した。

（資料－13）

6．予備ストリーマケーブル巻き取りウインチ

6.1 不具合の状況

平成 11 年度最初の MCS 行動 KR99-04：南海トラフ・室戸沖において、予備ストリーマーケーブルを巻き取る際、ウィンチの速度があまりに遅く時間がかかるため、ギアをニュートラルにした状態で人力によりドラムを回し、巻き取りを行った。

6.2 対策

平成 11 年度（２月９日～３月 10 日）中間検査工事において、ウィンチ付きスプロケット及び駆動チェーンを交換し、巻き取り速度を 7.6m/min から 12.5m/min に増速した。

7．エアガン展開距離

7.1 不具合の状況

平成 11 年度最初の MCS 行動 KR99-04：南海トラフ・室戸沖において、エアガンを船体より外側へ展開させるためのパラベインが十分展開しなかった。

7.2 対策

平成 12 年度に曳航方法を改修し、展開距離は以下の通りとなった。

KR00-04

測線名	RTT 間隔(m)		対水船速(kt)
AM102	平均	72.5	3.5
	最大	75.0	3.8
	最小	70.0	3.2
AM102-2	平均	70.0	4.0
	最大	73.0	3.8
	最小	68.0	3.7
AM201	平均	60.9	4.7
	最大	73.0	4.0
	最小	65.0	4.0
AM201-2	平均	72.0	4.0
	最大	75.0	3.6
	最小	70.0	3.9
AM201	平均	60.9	4.7
	最大	64.0	―
	最小	56.0	3.7
AM202 以外:エアガン吊索切離し曳航方式			
AM202:エアガン吊索接続曳航方式			

KR00-08

測線名	RTT 間隔(m)		対水船速(kt)
AM101	平均	61.6	4.2
	最大	67.0	3.9
	最小	50.0	2.9
HK201	平均	62.0	3.5
	最大	65.3	3.5
	最小	57.0	3.2
HK201-2	平均	―	―
	最大	―	―
	最小	―	―
HK201-3	平均	65.1	4.0
	最大	67.0	3.9
	最小	62.0	3.9
HK101	平均	65.3	4.1
	最大	70.0	4.2
	最小	61.0	4.0
全てエアガン吊索接続曳航方式			
HK201-2:左舷 RTT ケーブル不具合のため、測定できず			

エアガン展開距離を当初の目標である 100m とする方法については、日本海洋事業が今後の運用を行っていく上で検討することとした。

その一環として、平成 12 年 MCS 最後の調査行動である KR00-08 三宅島・神津島周辺において、パラベインの曳航状態と展開能力を把握するための実験を調査に支障を来さない範囲で行った。右舷と左舷では対水速力に対する張力及び展開角度が異なるという結果が得られた。

8．テレメトリーエラー

テレメトリーエラーは、MCS 探査の受波部であるストリーマーケーブルと、データ収録部である受振/記録制御装置（以下、SYNTRAK960 という）間のデジタル伝送系（テレメトリーライン）におけるエラーであり、テレメトリーラインによって伝送されてくる受信情報に誤りが多く検出された場合に起きている。

「かいれい」に搭載されているストリーマーケーブルは、156ch のハイドロフォングループで構成されており、アクティブモジュール（以下、モジュール）と呼ばれる中継機が 12ch 間隔（300m間隔）で取りつけられている（図-18）。モジュールは前後各 6ch、計 12ch のエアガンデータを収集して処理を行い、SYNTRAK960 へ送り出している（図-19）。

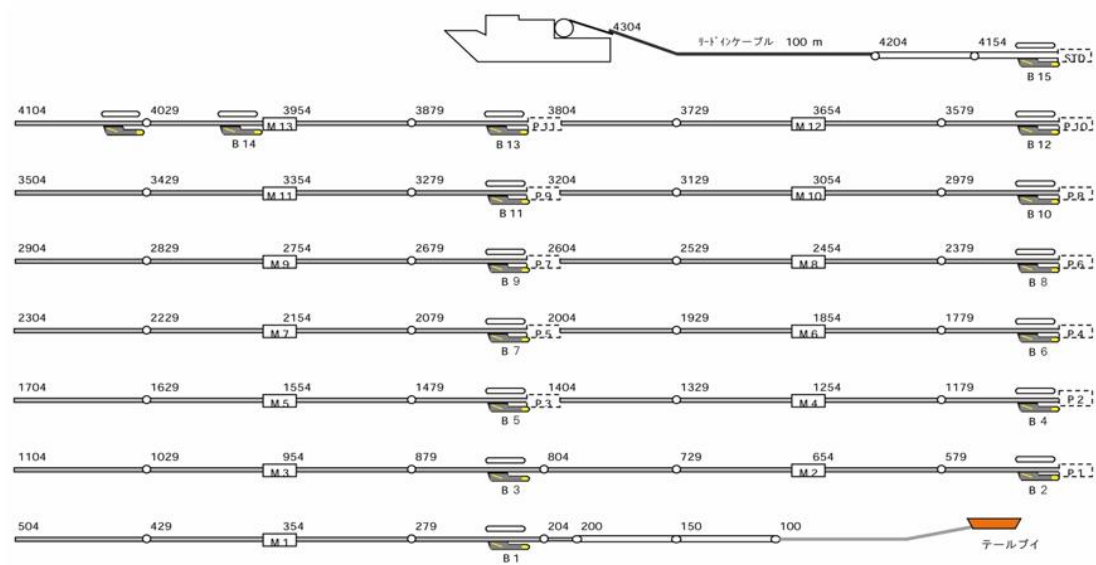



図- 18

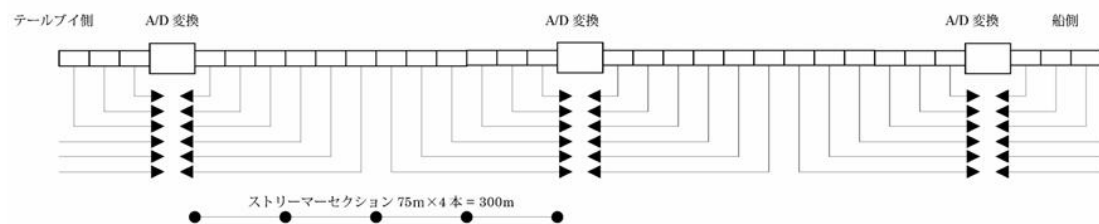
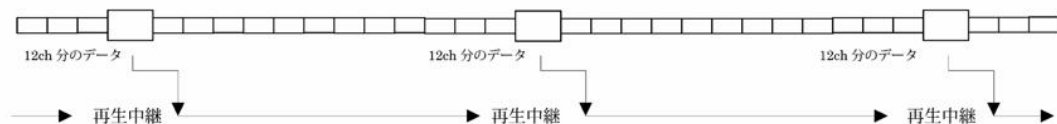



図- 19 ストリーマーケーブルにおけるデータの流れ

8.1 不具合の発生状況及び対応

テレメトリーエラーは、SYNTRAK960を平成11年に導入して以来、平成11年度２回目のMCS行動である KR99-08（平成11年８～９月）から平成 12 年度２回目のMCS行動であるKR00-04（平成12年６～７月）までの計３行動で発生し、エアガンデータ取得に大きな支障をきたした。このエラーが発生するとSYNTRAK960は自動的に収録を拒否するため､データ取得が不可能になる。

＜KR99-04行動時＞

エラー発生せず

＜KR99-08 行動時＞

発生日時　平成11年８月31日　13:00～　MY-102 観測中
発生箇所　Module#5～6
対応　システムリセットで復旧、その後エラー停止
　　　モジュール交換
結果　KR00-04 行動時に再発
総曳航時間　約 137 時間

発生日時　平成11年９月２日　13:11～　MY-102-2 観測中
発生箇所　Module#12～13
対応　モジュール間のケーブル交換
結果　KR00-02行動時に再発
総曳航時間　約174時間

発生日時　平成11年９月３日　20:00～　MY-101-2入線前
発生箇所　Module#1～2
対応　Module#1電源 OFF、12ch減で観測
　　　観測終了後、Module#1 交換
結果　KR00-04行動時に再発
総曳航時間　約198時間

発生日時　平成11年９月７日　05:30～　MY-104 観測中
発生箇所　Module#3～4
対応　システムリセットするが復旧せず
　　　Module#3～4間に再生中継器（Passive Module）を挿入
結果　再発せず（平成13年６月現在）

総曳航時間　約 230 時間

＜KR00-02 行動時＞

発生日時　平成 12 年５月５日　9：50～　AM-201 観測中
発生箇所　Module#7～8
対応　自然復旧
結果　KR00-04 行動時に再発
総曳航時間　約 330 時間

発生日時　平成 12 年５月５日　20:40～　AM-201 観測中
発生箇所　Module#12～13
対応　Module#12～13 交換、KR01-08 行動（平成 13 年５～６月）時に Module#12～13 間に再生中継器（Passive Module）を挿入。
結果　再発せず（平成 13 年６月現在）
総曳航時間　約 340 時間

＜KR00-04 行動時＞

発生日時　平成 12 年６月 18 日　12:38～　曳航テスト中
発生箇所　Module#1～2
対応　Module#1～2 間に再生中継器（Passive Module）を挿入
結果　再発せず（平成 13 年６月現在）
総曳航時間　約 403 時間

発生日時　平成 12 年６月 19 日　15:22～　曳航テスト中
発生箇所　Module#7～8
対応　自然復旧　KR01-08 行動（平成 13 年５～６月）時に再生中継器（Passive Module）を挿入
結果　再発せず（平成 13 年６月現在）
総曳航時間　約 427 時間

発生日時　平成 12 年６月 20 日　23:00～　曳航テスト中
発生箇所　Module#2～3
対応　Module#2～3 間に再生中継器（Passive Module）を挿入
結果　再発せず（平成 13 年６月現在）
総曳航時間　約 444 時間

発生時間　　平成 12 年６月 25 日　06:40～　HK-201-2 観測中
発生箇所　　Module#5～6
対応　　　　Module#5～6 間に再生中継器（Passive Module）を挿入
結果　　　　再発せず（平成 13 年６月現在）
総曳航時間　約 525 時間

＜KR00-08 行動時＞
エラー発生せず

8.2 原因及び対策

KR01-08 行動（平成 13 年５～６月）においてエラーが発生したモジュール区間におけるストリーマーケーブルの伝送特性を計測した結果、納品時の検査報告値を下回った値を示した。また、エラー発生区間に再生中継器（Passive Module）を挿入する対策を取ってからは、その区間においてテレメトリーエラーの発生は起きていない。これらのことから不具合の原因はケーブルの信号伝送特性が低下したことによるものと推測される。

対策としてエラー発生、未発生どちらの区間にも再生中継器（Passive Module）を挿入した。

Ⅵ．「かいよう」不具合と対策

１．エアガン制御システム、測位制御システム

1.1 不具合の状況

平成 11 年度の MCS 行動 KY99-03 南海トラフ・室戸沖において、エアガンが正常に発振しないミスファイアが頻発した。

1.2 対策

原因は、距離モードにて発振する場合、測位制御システム（スペクトラ）からエアガン制御システム（GCS90）に送られるヘッダーのタイミングが大きくずれることに起因するためと判明した。

平成 12 年度年次検査工事において、測位制御システムのソフトウェアを修正した。

２．データ収録機

2.1 不具合の状況

（１）リブート

平成 11 年度の MCS 行動 KY99-03 南海トラフ・室戸沖及び KY99-05 日本海溝・宮城沖において、観測中に突然リブートがかかる現象が複数回発生した。

メーカーにて対策を施したが、平成 12 年度の２回目の MCS 行動において再度、突然リブートがかかる現象が数回発生した。

（２）ADC 基板

平成 12 年度 MCS 総合作動試験の前に実施したデータ収録機（探鉱機 Galileo）の標準 QC テストの一部である「Noise Test」において、３枚実装されている ADC（アナログ／ディジタル変換）基板の１枚に割り当てられている ch.13 にノイズが認められた。ch.13 は Time Break 信号の入力に使用されているため、コネクタ部にて未使用の ch.18 に振り替えて総合作動確認を行った。

平成 12 年度 MCS 行動 KY00-08 において ch.14～ch.18 のデータ入力が停止した。

2.2 対策

（１）リブート

平成 11 年度 MCS 行動終了後、メーカーにおいて 10℃～70℃の温度試験を行ったところ、症状が再現したため、原因は過度な熱の影響と判断し、基板交換、熱対策を実施した。

しかし、平成 12 年度 MCS 試験航海（５月）で再発したため、船上にて調査

を行ったところ、コネクタ部の接触不良が原因と判明した。コネクタの抜き差しを実施し、不具合が発生しないことを確認した。

平成12年度最初のMCS行動KY00-02では不具合は発生せず､解決したかに思えたが、２回目のMCS行動KY00-05にて数回発生した。コネクタ部の接触確認、冷却ファンの取り付けを行ったが、復旧しなかった。メーカー（ジオシス）手配で予備機を準備していたが、テープドライブを認識しない等が原因で使用できなかった。

「かいよう」では曳航しているストリーマでの記録はあくまで参考であり、設置した海底地震計（OBS）でデータを取得することが主目的であること、不具合の原因が特定できないことから平成12年度は対策を行わずに使用を続けた。

平成12年度行動終了後、メーカーに送り原因調査、修理を行っている。

（２）ADC 基板

総合作動試験終了後、「Noise Test」を何度か実施したが、ch.13 へのノイズの混入は認められなかったため、特に対策を施さなかった。

ch.18から ch.13への配線の変更は実施しなかった。

ch.14～ch.18のデータ入力停止は全チャネル（ch.13～ch.24）が通信不良となっており、２枚目のADC基板自体の不良と考えられる。

リブートの不具合と併せてメーカーにて原因調査、修理を行っている。

３．エアガンフロート

3.1 不具合の状況

平成11年度のKY99-05日本海溝・宮城沖において、メーカーの製造ミスにより浸水が発生した。

曳航中フロートが横向きとなるのは、深度調整索が投入揚収用索の後ろ側に取り付けられているため、対水速度を上げるとフロート前面の水の抵抗が大きくなるためと考えられる。

3.2 対策

平成12年５月に全数（４台）を新品に交換し、以後浸水は見られない。

曳航中フロートが横向きとなる不具合は、曳航方法の改修により改善された。

４．ストリーマケーブルウインチ

4.1 不具合の状況

電動モーターとコントローラーに防水対策が取られていなかった。また、ケーブルの巻取り速度が遅いため改善を求めた。

4.2 対策

平成 11 年度調査行動終了後、モーターとコントローラーについてはメーカー補償により防水対策が施された。また、ブレーキ機能を追加し、巻取り速度については 15m/min から 30m/min に増速した。

５．ホーサードラム

５.１ 不具合の状況

KY99-05（平成 11 年８月）行動において、高速運転時に滑りが生じた。

5.2 対策

（１）エアガンダビットの設置に伴ない、最適な機器配置を行うため、作業甲板左舷船尾の既存の係船機を撤去し、代わりにワーピングエンドのみの小型のウィンチを設置した。

（２）このウィンチは自動２速切替えであり、負荷が小さいときは高速、負荷がある程度まで増えると自動的に低速に切り替わるウィンチである。

（３）このウィンチはワーピングエンドだけのウィンチのため、また長時間荷重を保持したまま停止することを想定していなかったため、ブレーキは付けなかった。荷重の保持は操作ハンドルを中立にして、作動油をブロックすることで行うこととなる。

（４）しかし油圧モーターは、負荷が掛かっているときには必ず作動油のリークが発生するため、そのリーク量に相当する分だけ油圧モーター（ワーピングエンド）が回転することになる。

（５）特に負荷が小さいときは、２速切替え弁が高速側になっており、リーク量が同じであっても、油圧モーター（ワーピングエンド）の回転量は大きくなる。

（６）低負荷時、高速側でのリークによるワーピングエンドの回転量が予想外に大きかったため、応急処置として自動２速切替え弁を強制的に低速側に固定して使用してきた。

（７）対策としては、２速切替え弁を低速側にしておけば回転量は許容範囲内であるので、自動２速切替え弁を手動２速切替え弁に変更することとし、平成 12 年２月の改造工事ドック時に２速切替え弁の換装工事を実施した。

６．アンビリカルケーブルウインチ油圧源

6.1 不具合の発生状況

KY99-05（平成 11 年８月）行動において、運転中騒音が発生することが確認された。

6.2 対策

（１）アンビリカルケーブルウィンチ（以下ウィンチという）の油圧源は、「かいよう」の既存の油圧駆動源装置（No. 1 油圧 P/U という）を兼用している。

（２）「かいよう」の既存の油圧甲板機械はすべて閉回路方式で、操作レバーにリミットスイッチとポテンショメータが組み込まれており、操作レバーの指示で油圧ポンプの吐出油量がコントロールされる方式である。

（３）一方ウィンチは開回路方式であり、またウィンチに関する十分な情報も得られなかったため、その操作レバーにあらかじめリミットスイッチとポテンショメータを組み込んで、「かいよう」の油圧系統に直接つなぎ込むことは困難と考え、油圧源とウィンチとの間にリミットスイッチ、ポテンショメータ、油圧切替え弁等を組み込んだ切替スタンドを設置することとした。

（４）この切替スタンドを使ったウィンチの運転手順は次のとおりである。

①ウィンチの操作に先だって、この切替スタンドのハンドルを倒すと、油圧ポンプがウィンチの定格速度に見合った一定量の作動油を吐出し始める。

②ウィンチの正転、逆転、速度制御はウィンチの操作レバーで行う。（しかし、この操作レバーには油圧ポンプの吐出油量をコントロールする機能はない。）

③従って、ここでウィンチを低速にしたり、停止すると、ウィンチへ入る油量は少なくなり、あるいは０となるが、一方油圧ポンプは一定量の油を吐出し続けているので、使われない油は油圧ポンプ出口のリリーフ弁から吹くことになり、このとき騒音が発生する。

（５）No.1 油圧 P/U のリリーフ弁が吹かないようにするには、油圧ポンプの吐出油量を一定とせず、ウィンチが必要とする量だけ吐出するように制御することが必要である。

その方法としては、リミットスイッチとポテンショメータを組み込んだハンドルを、ウィンチの操作レバーのすぐ横に設置して、ウィンチの操作レバーは正転、逆転の制御だけに使い、速度制御はこの追加したハンドルで行うことが考えられたが、このハンドルには油圧切替え弁等々が組み込まれていて大きく、使い勝手の良い２本レバー方式の配置が難しいため、上述の装置構成となったものである。

（６）一方、平成 12 年２月の改造工事において、調査観測用ウィンチの油圧駆動源装置（No.2 油圧 P/U）が搭載された。

No.2 油圧 P/U は開回路方式であり、本ウィンチの駆動源に適した形式であった。

また No.2 油圧 P/U を用いれば、リリーフ弁からの騒音発生という問題を回避できることが分かった。

（７）そこで対策工事として、本ウィンチの油圧駆動源を No.1 油圧 P/U から No.2 油圧 P/U に変更することとし、平成 13 年５月からの定期検査ドック時に実施することとした。

この改造にあたっては、「かいれい」で使用されている電気式の遠隔操作設備も組み込むこととした。

７．エアガンダビット投入揚収ウインチ

7.1 不具合の発生状況

センター着岸中（平成 11 年７月）の作動確認において、両舷の No.4 ウインチが滑る現象が発生した。

平成 12 年５月の投入揚収訓練において、右舷 No.1 ウインチに滑りが生じた。

7.2 対策

平成12年度のドック工事において対策を実施したが､その後も発生したため、造船所の手によりシートパッキンの厚さの調整を行った。

シートパッキンの厚さの違いのみであれば滑りが発生することは理解できないため､今後も様子を見ることとする。また､調整要領を提出することとした。

Ⅶ. まとめ

１. システム全般

「かいれい」、「かいよう」に搭載した３次元地殻構造解析システムは、容量1500inch^{3}エアガン８本で構成される世界でも類を見ない大容量のものであり、プロジェクトチームを結成して導入を検討したが、アンビリカルケーブルの断線、バンドルの強度不足、エアガンコンプレッサの潤滑油に水分が混入する等の不具合が平成 11 年度に発生した。これらの不具合を解決すべくワーキンググループを設置し、これまで 10 回にわたってワーキンググループにおいて不具合に対する検討を行い、対策を施した。

対策実施後の平成 12 年度に「かいれい」、「かいよう」とも各３回の調査行動において MCS の運用を行ったが、この間システム全体に影響を及ぼすような重大な問題は発生しなかった。

最も重大な問題であったアンビリカルケーブルの断線に関しては、ケーブルメーカーの変更、曳航方法の改修により、ほぼ解決していると考えられる。理由は、平成 11 年度はエアガン発信回数が「かいよう」2,000 回程度、「かいれい」12,000 回程度で不具合が発生しているが、平成 12 年度は「かいよう」で 6,400 回、「かいれい」で 49,000 回を越えているが、不具合は発生していない。これは、M社が不具合の原因の一つに指摘していた船尾ローラーシステムが問題ないことを証明するものと考える。ただし、今後も継続して観察を行い、ケーブル及び投入揚収システムの健全性を確認する必要がある。

「かいれい」エアガン展張距離に関しては、一応研究者が満足できるものとなっているが、目標値に近づけるべくパラベインの曳航方法等を検討し、今後もさらなる工夫を続ける。

その他の不具合に対してもそれぞれ対策を施した結果、大きな不具合は発生していない。

２. 「かいよう」コンプレッサの運用

ワーキンググループとしては、水分の混入を防止するのが基本と考えているが、コンプレッサーの構造上水分の混入を防ぐことが困難であることが造船所の報告により明らかになった。そこで、潤滑油中に混入した水分を取り除く手段として、油中水分離器を仮設した。

油中水分離器を用いて平成 12 年度の３回の調査行動の結果、水分含有量は機器に障害を及ぼす量ではないことが判明したことから油中水分離器の有意性が認められたと判断する。

仮設置状態であった油中水分離器を常設とし、水分含有率の基準を含む運転管理基準を造船所が準備し、それに基づいて今後の運用を行うこととする。

３．不具合発生原因の分析および今後の防止策

MCSWG 座長

以下に、MCS2 号機に関わる不具合が発生した背景について考察し、今後の対処・防止策を提言する。

(1)プロジェクトチーム

一般に、**不具合の原因を究明**し、**対策**を行うことは、それを未然に防ぐよりも**容易**である。

MCS１号機において、ストリーマウィンチの故障等、順調な運用ができるまでに多くの不具合が発生した経緯から、所内にプロジェクトチーム（「高性能３次元 MCS プロジェクトチーム」）が結成された。チームの構成は、研究業務部、深海研究部、海底下深部構造フロンティア、Ｃ社（１号機を運用）、A 社、およびＢ社（OBS）であった。リーダーは研究業務部長、サブリーダーは深海研究部長および研究業務部計画調整課長（全体総括）、事務局は研究業務部計画調整課（全体総括）が行った。さらに、プロジェクトチームを探査システムチームと船舶改造チームに大きく分けて、それぞれにチームリーダー（探査システムは OBS と MCS に各１名）を置き、各チーム内の役目をさらに細分化して役割分担を明確にした。以上のように、組織としては万全の体制を敷いたと思われる。

プロジェクトチームは、MCS2 号機システムが世界最大容量のガンシステムを有するものの、**基本的に開発要素がない**旨、要求元（深海研究部）から伝えられた。このことから、「かいれい」、「かいよう」２船にわたる固定・非固定**装備品の搭載方法**や、**ガンシステム着水揚収**等の**運用方法**を、２号機の**主要な検討課題**と位置づけた。

１号機のストリーマケーブルウィンチと同様な不具合が、**アンビリカルケーブルウィンチ**にも発生することを懸念し、船舶改造チームは**国産品を推奨**した。しかし、ケーブル等の仕様を問い合わせても回答が得られなかったため、メーカー指定品を納入せざるを得なかった（ストリーマウィンチは旧システムを転用）。まさに心配した通り、ドック試験でアンビリカルウィンチが**動かなかった**。油圧部品の製作ミス（不良品）によるものであった。１号機と異なるメーカーではあるが、２号機でもウィンチにかかわる不具合を繰り返したのは、探査システムチームに**経験が蓄積されていなかった**　からである。また、「かいれい」および「かいよう」に搭載する機器は、形状、重量、寸法を正確に知る必要があったが、船舶改造チームの担当者（造船所出向者）が、代理店等に問い合わせても**なかなか回答が得られなかった**。

このような場合、研究部または事務局のセンター職員が、代理店に強く働きかけるべきであった。

(2) アンビリカルケーブルの断線

既に述べたように、**アンビリカルケーブル**（の電線）**が短時間で断線**した**直接の原因**は、使用前（製造時）から**電線にキンクが存在**したことであった。**２次的要因**として、**発振の衝撃がアンビリカルケーブルに直接伝わる**　ガンフレーム曳航方式の採用によって、キンクした電線が**張りと緩みを繰り返し**て劣化が加速され、ごく**短時間で断線**に至ったと考えられる。

ケーブルのキンクは、ウィンチドラム内（無張力）を含む**全長**にわたっていた。これによって、**製造工程でキンクが発生**　したことが明らかになった。**ケーブルメーカー**　はそれを強く**否定**したが、少なくとも**運用前**から**キンクが存在**したことを最終的に認めた。この点は不幸中の幸いで、その後の補償交渉が極めて有利に進んだ。ケーブルメーカー（およびM社）は、キンクしたケーブルの寿命試験や取扱方法の変更を執拗に要求したが、断線した原因の一端が、運用方法にあることを認めさせる意図が明らかであった。センター内にも、欠陥ケーブルの耐久試験を容認する意見があったが、これは、相手を利するだけと考えられる。例えていえば、ひびの入ったガラス窓の耐久試験を行い、割れた原因が開閉のしかたにあるというのと同じである。

電線がキンクしていなければ、ガンフレーム曳航方式でも数千回の発振で断線することはなかったであろう。しかし、一般に張力のかかったケーブルは、**張りと緩みの繰り返し**によって**疲労が加速**され、**寿命が短く**なることが知られている。旧ケーブルは破断張力が約 18 トン、４ノットで曳航中の張力は４トン弱と思われるが、破断張力の約 20%で張りと緩みを繰り返せば、寿命に少なからぬ影響を及ぼした可能性が高い。

もしも、電線全体に**キンクがなく**、使用前からキンクが存在したことを**証明できなかったら**、**経費の一部を負担**する等、最終的に**何らかの妥協**をせざるを得なかったと思われる。

(3) 曳航方式

ガン曳航方式に関する検討経過を追うと、１号機と大きく異なる**大容量ガン**をどのように**曳航すべきか**　について、プロジェクトチームで何度か検討が行われた。当初は、他にも例がある**フロート曳航方式**　に傾いていたが、最終段階で**ガンフレーム曳航方式**　が採用された。ガン曳航に関する知識や経験が少なかったため、メーカー（M社）や A 社の**提案に従った**　のは**やむを得ない**　と思われる。

確かに、**ガンの姿勢を安定** させるには、フロートよりも**ガンを曳航** した方が良さそうに見える。また、アンビリカルケーブルでフロートを曳航すると、ガンフレームに至る電線やホース（これらをまとめたバンドル）の**取り回しが複雑** になる。現に、本 WG では最初にこの方式を提案したが、運用者側から強い反対があった。以上の２つの理由から、ガンフレーム曳航方式に決まった。結果論であるが、ガンシステムが世界最大の容量を持っていたのは**前例のない** ことであり、ガン発振の衝撃がアンビリカルケーブルに直接伝わる方式も前例が少なかった。前例の少ない（ない）方式を採用する場合は、慎重な検討が必要である。

以上より、ガンフレームを直接曳航する方式は、アンビリカルケーブルの（電線の）**断線を加速** させる主要因となったが、当時の知識では、**曳航方式の違い** によってケーブルの**寿命が変化する可能性を予見するのは困難** であった。

本 WG では、現在の不具合対策に留まらず、**今後発生する恐れのある障害** を排除するため、ガン発振の衝撃がアンビリカルケーブルに直接伝わらない方式を提案した。すなわち、アンビリカルケーブル端末から、最大 20 m の**ワイヤロープを介**して**フロートを曳航**し、**補助的**に**ガンフレーム**を**ワイヤで曳航**した。これによって、ガン発振によってケーブルが波打つことが全くなくなった。**副産物**として、従来低速時に不安定であった**フロートの姿勢も安定** した。一方、**ワイヤ** と**バンドル** の**数量が増加** するため、着水揚収作業の煩雑化が懸念されたが、軽量化によってむしろ以前よりも**作業性が向上**したとの評価を得ている。

(4)バンドルの損傷

システムの成立上致命的ではないが、**外見上目立つ不具合** として、トーイングフレーム間のホース、ケーブル保護用**バンドルの損傷** があげられる。このバンドルに、最初から折れ曲がりによる変型や、補強ワイヤの飛び出しが発生した。メーカーによる対策は、バンドルやその端末の固定方法をさらに強化するものであったが、何ら改善が見られなかった。これは、**バンドル自体に問題**があること、すなわち**重量の割に曲げ強度**が**小**さかったこと、バンドル径の割に小半径の曲げによって**座屈**を起こしたことは、一見して明らかである。

本 WG では、上記のバンドルに代わって、**糸**（グラスファイバ）**入りビニルホース** を縦割にしてホースとケーブルを包み、全体に**柔軟性**を持たせ、**軽量化**した**バンドル** を提案した。**手作り**の極めて**簡便**な方法であるが、これによって**バンドルの損傷問題が解決**した。そのヒントは、むき出しのジャンパホースとケーブルには、何ら損傷がなかったことである。すなわち、極言すれば、バンドルなど不要と考えられる。

(5)受け入れ体制

アンビリカルケーブルの電線に、使用前からキンクが存在したが、**ケーブル受け入れ**の際に、電気的絶縁や導通をチェックしても、**キンクの存在まで知ることはできない**。納品時にサンプルの提出を義務づけ、解体していれば、運良く気づいたかも知れないが、それが全長にわたっているとは予想できないであろう。合計４本(「かいれい」、「かいよう」）のアンビリカルケーブルは、１本の長いケーブルを切断したものであるから、それぞれのサンプルを詳細に検査すれば、複数箇所でキンクが見つかり、疑いを持ったかも知れない。恐らく、ケーブルの**端末処理**（４本×両端）を行った**メーカーの技術者** は、**キンク**の存在に**気づいていた** と思われるが、ユーザーがそこまで予測するのは不可能に近い。

以上より、**アンビリカルケーブルの欠陥** を**事前に察知することは極めて困難** であり、アンビリカルケーブル内**電線の断線** は**不可抗力** であったと考えられる。このようなケーブルの不具合は、**常識的には考えられない** ことである。今後唯一推奨できることは、ケーブルサンプルの提出を義務づけ、解体等のチェックを厳重に行うことである。X 線検査まで実施すれば万全ではあろうが、コストアップは避けられない。

なお、平成 12 年末に、米国のケーブルメーカーで出荷時の事故により、長さが不足した補償用ケーブルの再製作を行った。平成 13 年 1 月始め、サンプルケーブルを代理店が取り寄せて解体検査したところ、鎧装ケブラの量が不足し、強度が規定値の半分しかないことが判明した。異なるケーブルメーカーとはいえ、全くお粗末というしかないが、センターにとっては、前記のチェック機能が有効に働いたといえる。なお、上記ケーブルは、現在再々製作を行っており、平成 13 年 5 月中に交換する予定である。

ケーブルに関して、常識で考えにくいことが**続いて起きた** ことから、今後は多少のコストアップを承知の上で、**品質管理と保証**の行き届いた**国内メーカーで製造**するのが望ましい。また、輸入品には国内の常識が通用しないことを教訓として、受け入れ試験を厳重に行うべきである。

(6)仕様書

一般に、**輸入品**の海洋機器は、安価であるが国産品に比べて**アフターケアが不十分** である。このような現実において、一旦故障が起きた場合、それが補償か有償かは、ひとえに**仕様書**の規定にかかっている。MCS2 号機の仕様書を見ると、細部の仕様や検収方法、完成図書に関する規定がなく、保証範囲も曖昧であった。**曖昧な**

規定は、国内では有利かもしれないが、外国企業には通用しない ことを認識すべきである。

今後、**外国製品の購入** に際しては、万一不具合が発生しても相手の責任が明らかになるように、**仕様を厳密** に規定すべきである。知識がないからやむを得なかったと思われるが、仕様書を発注先に作らせると、相手の都合の良いものになる可能性が高い。これを避けるには、例えばプロジェクトの各チーム において、**第三者の立場**で仕様書の内容をクロスチェック すべきである。

業務協力員の**派遣** を要請された **A 社** は、国内で MCS の運用実績と解析能力を持つ数少ない機関であるが、以上の不具合やメーカーとの交渉において、受注した範囲の責任のみを主張した。研究部の意向に従ったとはいえ、システム全体には A 社の意見が多く反映されており、同社はその**責任をもっと自覚** すべきであった。

(7)今後の防止策

曳航方式の違いによって、ケーブルの寿命が変化する可能性を予見するのは困難であるが、今後の**教訓**として、**始めて**、あるいは**前例の少ない方式** を採用する場合は、**変更の理由**、**前例の有無**、**実績等**を**徹底して調査**すべきである。特に**始めての方式**を採用する場合は､その妥当性を事前に**実験等によって確認**する必要がある。

センターにおける**不具合の多く**は、**従来実績あるものを少しでも改造・変更** した場合に**顕著に発生** していることを付け加えておく。世の中一般にもその傾向がある。

不具合発生から約**半年後**にようやく本**WG が発足**し､本格的対応に着手したのは、迅速さを欠いて いた。結果としてそうなったのは幸いだったが、「MCS 信頼性向上 WG」という名称も､問題の本質を認識していなかったのではないか？外国製品に不具合が発生した場合、当事者がすみやかに方針を決めて対処しないと、対策が長期化し、うやむやに終わる恐れがある。アンビリカルケーブルに関しては、**相手に全面的な非**があったから**問題がこじれずに** 済んだが、これは**運が良かった**からである。

以上の不具合およびその後の対応を通じて感じたのは、**主体となる者の顔**が見えないことである。大規模または高額システムの導入に**分業**体制は必要であるが、これを**総括**する者がいないと**目的**と**責任**の所在が曖昧になる。本来、ユーザーである研究部の MCS 担当者が陣頭指揮をとるのが望ましいが、総括できる者の不在 が最

大の問題かも知れない。これは、当センターで発生した不具合の多くに共通する現象である。経験は浅くても、目的意識 と熱意があれば、組織を動かすことができる。

しかし、当センターの業務が爆発的に拡大する現状を見ると、十分な技術的知識のないまま新たなシステムを導入することは、今後も避けられないであろう。

以下は、WG リーダーの私見である。海洋では、ロケットのような極限設計が求められる機器開発は、当面ないであろう。すなわち、結果が一かゼロかの二者択一となるような開発はない。したがって、不具合が再び発生することを前提に、迅速に対処できる体制を整備して、被害を最小限に食い止めるのが現実的対応ではないかと思われる。具体的には、技術部門に全ての経験と知識を集積 するのが理想と考えられるが、それができなければ安全管理室がその役割を一部担うのは如何であろうか？

以上